

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

**Technická diagnostika soustruhu 16K20**

**Technical diagnostics of the 16K20 turning lathe**

Bakalářská práce

Student:

Marek Hon

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2015



## **Zadání bakalářské práce**

Student: **Marek Hon**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování  
Téma: Technická diagnostika soustruhu 16K20  
Technical Diagnostics of the 16K20 Turning Lathe

### Zásady pro vypracování:

V rámci této bakalářské práce se zabývejte problematikou aplikace technické diagnostiky na obráběcí stroje. Vhodně zvolte diagnostické metody, měřící místa, proveďte potřebná měření a následně výsledky zpracujte a vyhodnoťte.

### V rámci zadání zpracujte:

---

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ŠAFR, E. *Tribotechnika*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s. 04-243-84

HRADECKÝ, F., VLK, M. *Tribotechnika*. 1. vydání, Praha : SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 297 s.

ČSN 20 0065 *Metody měření a hodnocení mechanického kmitání-Mezní hodnoty kmitání*. Praha: Český normalizační institut, červen 1992. 16 s.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 48 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v inovačním systému VŠB-TUO.

bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě, ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě:.....

.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Marek Hon

Adresa trvalého pobytu autora práce: Výškovická 2566/70, 700 30, Ostrava – Zábřeh

## **Anotace bakalářské práce**

HON, M. *Technická diagnostika soustruhu 16K20 : Bakalářská práce*, Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2015, 60s. Vedoucí práce: Blata, J.

Bakalářská práce se zaměřuje na vyhodnocení technického stavu skupiny 5 soustruhů 16K20, z hlediska vibrodiagnostiky. V úvodu práce je popsána technická konstrukce soustruhu včetně schémat ovládacích prvků a schéma uspořádání převodů. Pro měření byl použit měřicí přístroj, který měřil úroveň vibrací na ložiscích v převodové skříni a zároveň měřil frekvenci otáček. Výsledky byly zaznamenány v elektronické podobě a dále vyhodnoceny analyzátozem. Z naměřených výsledků byl následovně určen stav opotřebení ložisek jednotlivých soustruhů.

## **Annotation of bachelor thesis**

HON, M. *Technical diagnostics of the 16K20 turning lathe : Bachelor thesis*, Ostrava : VŠB-Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2015, 60p. Thesis head: Blata, J.

Bachelor thesis is focused on technical review of the group of 5 turning lathes, in terms of vibro-diagnostic. In the beginning of the thesis is described technical contruction of the turning lathe, also scheme of control elements and scheme of the gearbox compartment. The meter was used to measure the level of vibrations on bearings inside the gearbox compartment, and was also measuring the frequency of rotation. Results were registered in electronic form and then evaluated by the analysator. The condition of the bearings of each turning lathe, was then determined from the results of measurements.

# Obsah

Seznam použitých zkratk	7
Úvod	8
1 Literární přehled	9
1.1 SPŠ Ostrava-Vítkovice, příspěvková organizace	9
1.2 Technická diagnostika	9
1.3 Vibrodiagnostika	10
1.3.1 Možnosti vibrodiagnostiky	10
1.3.2 Způsoby provádění vibrodiagnostiky	11
2 Hrotový soustruh 16k20	12
2.1 Historie hrotového soustruhu 16k20	12
2.2 Technická data soustruhu	13
2.3 Konstrukce soustruhu 16k20	14
2.4 Seznámení s ovládacími prvky	26
3 Měření	30
3.1 Teoretický rozbor měření	30
3.2 Popis měřicího přístroje a sond	31
3.3 Postup při měření	35
3.4 Naměřené hodnoty	37
4 Závěrečné hodnocení	52
4.1 Hodnocení stavu jednotlivých strojů	52
4.1.1 Soustruh 8	52
4.1.2 Soustruh 9	52
4.1.3 Soustruh 10	52
4.1.3 Soustruh 11	52
4.1.4 Soustruh 12	53
4.2 Závady zjištěné měřením	53
4.3 Návrh oprav	53
5 Závěr	55
6 Seznam použité literatury	56
7 Seznam použitých obrázků	57
8 Seznam použitých tabulek	59



## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
kW	kilowatt
Hz	Hertz
V	Volt
mm/ot	milimetrů za otáčku
ot/min	otáček za minutu
kg	kilogram
mm	milimetr
s	sekunda
L1	levé ložisko v převodové skříni
L2	pravé ložisko v převodové skříni
d	malý průměr ložiska
D	velký průměr ložiska
b	šířka ložiska
RMS	Efektivní hodnota
$A_{RMS}$	Efektivní hodnota zrychlení
$V_{RMS}$	Efektivní hodnota rychlosti

## Úvod

Předmětem bakalářské práce je zhodnocení technického stavu skupiny 5 soustruhů 16k20 z pohledu vibrodiagnostiky. Zhodnocením technického stavu se určí, zda-li jsou soustruhy ve stavu schopném vykonávat svou práci s danou přesností, popř. jak dlouho ještě budou schopny před nutnou opravou. Tento typ diagnostiky se řídí předepsanými postupy měření a vyhodnocování změřených dat.

Práce je rozdělena do kapitol. V první kapitole stručně seznámím s SPŠ Ostrava – Vítkovice, Zengrova 1, ve které jsou stroje umístěny. Druhá kapitola se věnuje historii a technickému popisu soustruhu 16k20, jeho technické dokumentaci a seznámení s ovládacími prvky. Třetí kapitola obsahuje popis měření a naměřená data. Ve čtvrté a poslední kapitole je vyhodnocení technického stavu strojů s doporučením případných oprav.

Má práce si dává za úkol zjistit stav strojů. Změří se úroveň vibrací na jednotlivých strojích, zda jsou v toleranci pro typ stroje a provozní podmínky. V případě nalezení závady, tuto závadu lokalizujeme a doporučíme typ nápravy.

# 1 Literární přehled

## 1.1 SPŠ Ostrava-Vítkovice, příspěvková organizace

Střední průmyslová škola, Ostrava –Vítkovice, příspěvková organizace, byla založena roku 1919. Samotná budova školy byla postavena v roce 1923. Původní název školy byl SPŠ Strojírenská Vítkovice, jak je zaznamenáno nad vchodem. Škola se nachází na ulici Zengrova 1. Škola je jednou z nejstarších dodnes fungujících technických středních škol v Ostravě. Na škole se v současné době vyučují obory se zaměřením na strojírenství-výpočetní techniku, strojírenství-automobilní techniku a strojírenskou technickou administrativu.

Naproti hlavní školní budově se nachází budova odborných dílen. V ní jsou umístěny učební pomůcky – soustruhy, frézky, vrtačky a brusky, které slouží k seznámení studentů s jejich funkcí. K budově dílen je dále připojena budova zaměřená na seznámení studentů s kovářstvím a svařováním.



Obrázek 1: Znak školy SPŠ Ostrava . Vítkovice

## 1.2 Technická diagnostika

Technická diagnostika je vědní obor, který se zabývá různými metodami a postupy zjišťujícími technický stav a vlastnosti strojních zařízení. Je to soubor preventivních činností.

Cílem diagnostiky je:

- prodloužení životnosti
- zvýšení spolehlivosti (minimalizace výpadků)
- předvídaní poruch a jejich plánované odstranění
- snížení energetických nároků (teplo, tření, vibrace, rezonance)
- snížení nákladů na servisní úkony a náhradní díly

Technickou diagnostikou se rozumí soubor činností preventivních, také prediktivních a proaktivních, prováděných na strojním zařízení. Používá se zejména v průmyslových podnicích s cílem prodloužit funkční období strojního zařízení a tím snížit výrobní náklady. Výrobní náklady lze také snížit snížením rizika výpadku provozně-kritického zařízení (např. čerpadlo mazacího systému).

Technickou diagnostikou tedy musíme zajistit pravidelnou kontrolu stroje. V určených časových intervalech se provádí měření, kterým určujeme aktuální stav stroje. Tímto jsme také schopni upřesnit zbývajících maximální čas běhu bez poruchy.

Technická diagnostika má řadu odvětví:

- vibrodiagnostika a akustika – měření kmitů, chvění, vibrací
- měření geometrie – souosost, rovinnost, kolmost, centricita
- termografie – sledování rozložení teploty
- elektrodiagnostika – sledování jevů v elektrických strojích a sítích
- tribologie – analýza stavu maziv
- nedestruktivní diagnostika – zjišťování poruch ve struktuře materiálu (ultrazvuk, rentgen)

## **1.3 Vibrodiagnostika**

Vibrační diagnostika nebo také vibrodiagnostika je metoda bezdemontážní nedestrukční diagnostiky rotačních strojních zařízení. Využívá vibrací generovaných strojem za chodu, jako informace o jeho technickém stavu. Vibrodiagnostika je také velmi využívána moderními prediktivními a proaktivními metodami údržby. Údržba se tímto plánuje podle toho v jakém stavu skutečně stroj je, odpadají zbytečné odstávky a preventivní opravy. Šetří také finanční a materiálové zdroje. Stroje pravidelně monitorované mají delší periodu odstávek, dlouhodobě plánovaných s předstihem. Při takovém sledování stroje je také jednoduché rychle určit závadu a bez průtahů ji odstranit.

### **1.3.1 Možnosti vibrodiagnostiky**

Základním měřením je zjišťování vibrací generovaných strojem. Zjišťovány jsou hlavně mechanické stavy, např. nevývaha, nesouosost, mechanické uvolnění, rezonance atd. Měření je popsáno v normách zabývajících se dovozenými velikostmi kmitů – ČSN 122011 – ventilátory, ČSN 105041 – kompresory, ČSN ISO 10816 – obecná norma pro

většinu strojních zařízení, ČSN 20 0065 – norma pro obráběcí stroje. Měří se rychlost vibrací v mm/s v detekci RMS..

Ke zjištění stavu mazání kluzných i valivých ložisek, detekci elektrických problémů elektromotorů, zjišťování stavu ozubení a mazání v převodovkách se používá měření zrychlení vibrací ve vhodných frekvenčních pásmech.

K určení přesného stavu ložisek byly vyvinuty speciální „obálkové technologie“ zrychlení vibrací. Obálkové technologie jsou schopny detekovat zda je příčinou problémů v ložisku vnitřní nebo vnější kroužek, popř. valivé elementy nebo klec.

### **1.3.2 Způsoby provádění vibrodiagnostiky**

Dle způsobu provádění ji lze rozdělit na:

- periodická – ruční měření s přesně danou periodou, efektní při určování vývoje stavu
- jednorázová- zjištění okamžitého stavu, prognózování je však obtížné
- kontinuální – ON-LINE – neustálá kontrola stavu zařízení, s přednastavenou ochranou při dosažení mezních limitů

## 2 Hrotový soustruh 16k20

### 2.1 Historie hrotového soustruhu 16k20

Stroj se začal vyrábět v roce 1973 v Moskevském závodě Krasnyj proletarij, jako univerzální hrotový, analogový soustruh. Některé části soustruhu byly dodávány firmou JSC Gomel Machine Tool Units Plant z nynějšího Běloruska. Po krachu závodu Krasnyj proletarij, firma JSC Gomel Machine Tool Units Plan v roce 1992 převzala jeho výrobu pod označením GS526U. Nyní již firma tento stroj nevyrábí, avšak nabízí modernější stroje včetně CNC řízených.



Obrázek 2: Soustruh 16k20

Soustruh se také vyráběl ve verzi 16k20P a 16k20G, kde index „P“ značí větší přesnost stroje a index „G“ značí, že soustruh byl upraven pro obrábění větších obrobků. Stroj se používal ve všech zemích bývalého SSSR. Nyní je možné je zakoupit starší, cena se odvíjí od intenzity jejich používání, avšak na trhu jsou již mnohem modernější stroje.

Rozbor označení stroje 16k20:

1 – soustruh

6 – obráběcí

k – generace stroje

20 – maximální obráběný průměr nad suportem

Evidenční číslo stroje	Výrobní číslo stroje	Rok výroby
8	00366	1978
9	11759	1977
10	00192	1977
11	00365	1978
12	00372	1978

Tabulka 1: Soupis měřených strojů

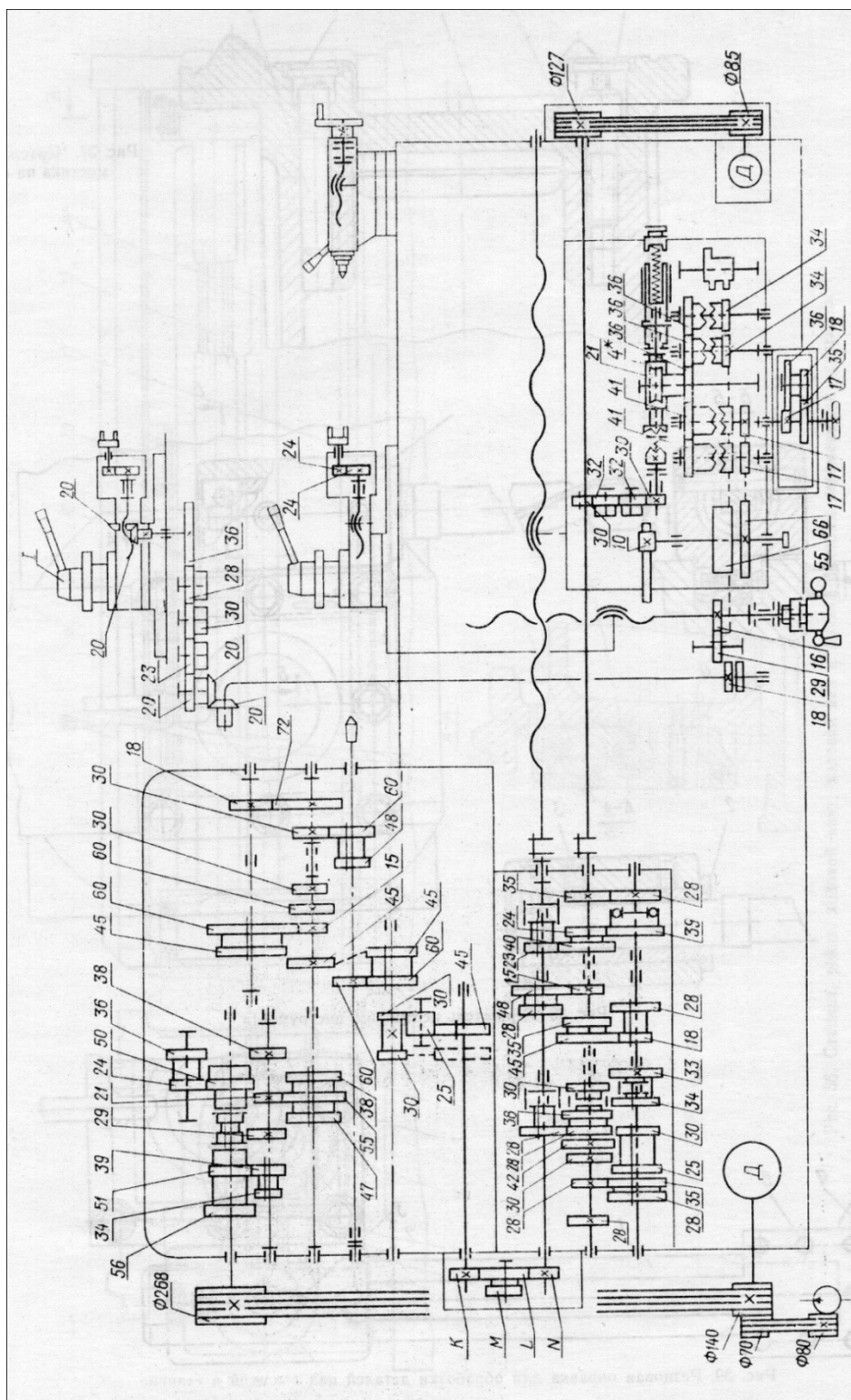
## 2.2 Technická data soustruhu

Soustruh 16k20	Hodnota	Jednotka
Maximální obráběný průměr nad ložem	400	mm
Maximální obráběný průměr nad suportem	220	mm
Maximální obráběný průměr v lůžku	400	mm
Maximální vzdálenost mezi hroty	1000 (1500)	mm
Třída přesnosti dle GOST	8-82H	/
Konec vřetena dle DIN	6K	/
Konec vřetena dle GOST	12593-72 6K	
Maximální hmotnost obrobku ve sklíčidle	300	kg
Průměr válcového otvoru vřetena	55	mm
Velikost kuželu vřetena	Morse 6	/
Počet rychlostí otáček vřetena	24	/
Pracovní otáčky vřetena	12,5 - 1600	ot/min
Výkon motoru	11	kW
Počet rychlostí posuvu	42	/
Rychlost posuvu podélně	0,05 - 2,8	mm/ot
Rychlost posuvu příčně	0,002 - 0,11	mm/ot
Metrický závit	0,5...192	mm
Závit v palcích	24...1,625	"
Modulární závit	0,5...48	/
Stoupání závitu	96 - 1	/
Délka vnitřního soustružení	200	mm
Rozměry stroje (DxŠxV)	2795x1190x1500	mm
Hmotnost	3005	kg

Tabulka 2: Technická data soustruhu 16k20

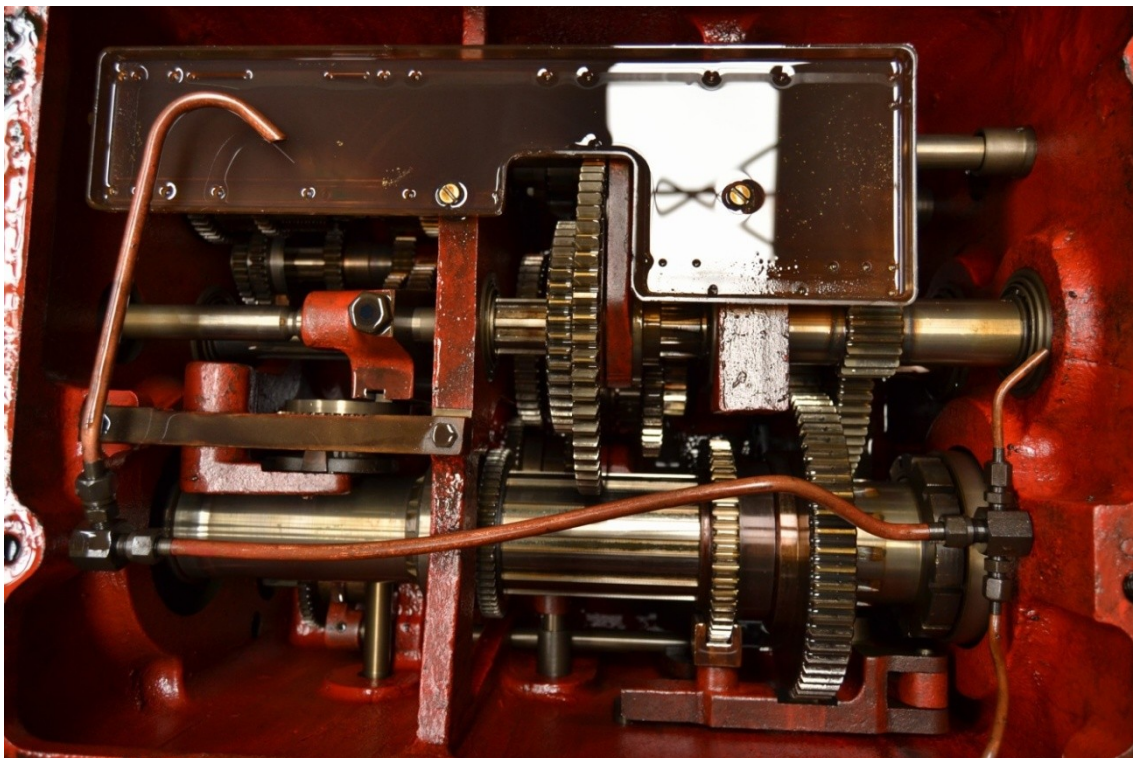
Technická data soustruhu jsem převzal z originálního manuálu ke strojům, posléze je ještě ověřil na webových stránkách JSC Gomel Machine Units Tool Plant.

## 2.3 Konstrukce soustruhu 16k20



Obrázek 3: Schéma převodového ústrojí





Obrázek 4: Pohled na celou převodovku po odkrytí, vlevo nahoře část pro řazení rychlostních stupňů, vpravo část pro volbu převodových poměrů

Celá převodovka je celooceľová s veškerými prvky obráběnými. Mazání je zajištěno olejovým čerpadlem. Sekundární nádržka na olej zajišťuje mazání ozubených kol odkapáváním. Ložiska jsou mazána přívodem oleje skrze kovové rozváděcí trubičky.

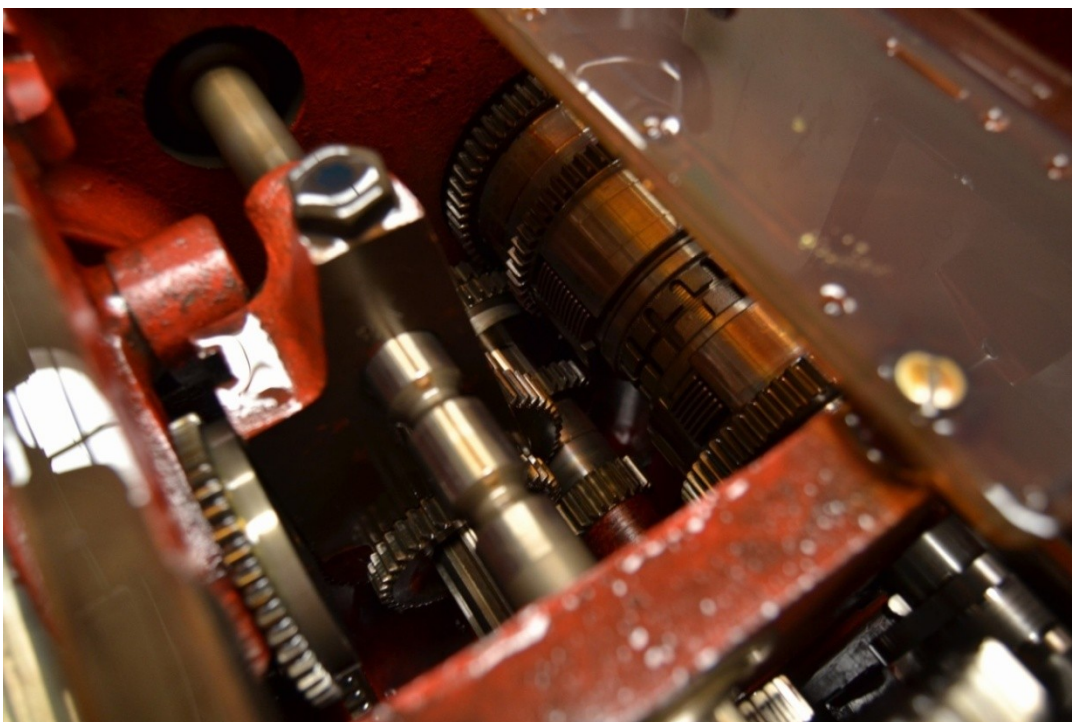
Schéma zařazených jednotlivých otáček se mi bohužel nepodařilo vypracovat, protože prostor v převodovce je velmi nepřehledný.

Veškeré prvky převodovky jsou původní. Důvod takové výdrže přičítám především malé intenzitě používání vyplývající z využití soustruhů především jako učebních pomůcek pro studenty. Doba chodu strojů je průměrně 10 hodin týdně.



Obrázek 5: Způsob mazání ložisek v soustruhu 16k20

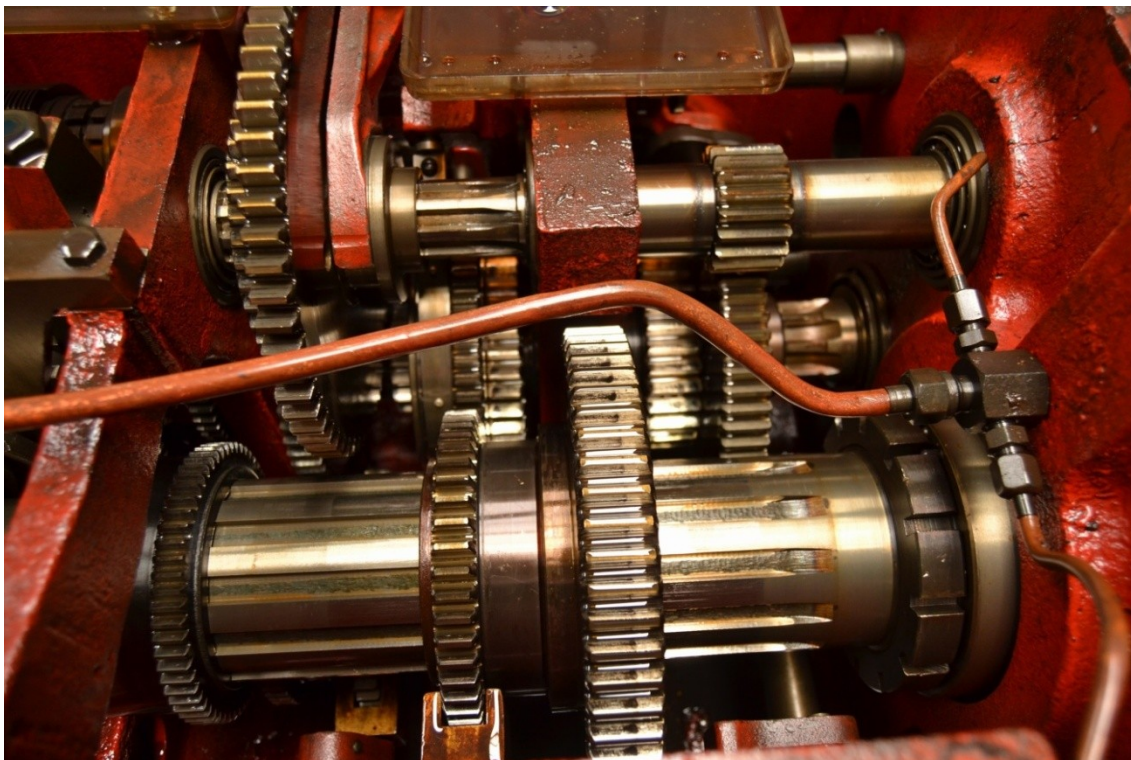
Na obrázku 5 Je vidět jakým způsobem je zajištěno mazání valivých ložisek v celém soustruhu. Ložiska ve strojích jsou původní, měněn je pouze mazací olej.



Obrázek 6: Pohled na část převodovky kde se volí jednotlivé rychlostní stupně  
Řazení otáček vřetena probíhá ve dvou krocích.



V 1. kroku si zvolíme požadovaný převodový stupeň (obrázek 6) dle tabulky umístěné nad řadicí pákou (páka umožňuje zařadit 1 až 6 rychlostní stupeň).









Obrázek 7: Pohled na část převodovky kde se volí převodový poměr

Ve 2.kroku (obrázek 7) si volíme požadovaný převodový poměr. Soustruh nabízí možnost zvolení převodových poměrů 1:32, 1:8, 1:2 a 1,25:1.

Таблица 1

12.1.2. Наибольший допустимый крутящий момент на шпинделе и наибольшая допустимая мощность

Положение рукояток		Прямое вращение шпинделя			Обратное вращение шпинделя		
 № 1 (рис. 9)	 № 2 (рис. 9)	Число оборотов шпинделя в минуту	Наибольший допустимый крутящий момент на шпинделе, кгм	Наибольшая допустимая мощность по указателю нагрузки 27 (рис. 9), кВт	Число оборотов шпинделя в минуту	Наибольший допустимый крутящий момент на шпинделе, кгм	Наибольшая допустимая мощность по указателю нагрузки 27 (рис. 9), кВт
 1:32	1	12,5	130	2,3	19	130	3,9
	2	16	130	3			
	3	20	130	3,7	30	130	6,2
	4	25	130	4,7			
	5	31,5	130	6	48	128	10
	6	40	130	7,7			
 1:8	1	50	130	9,3	75	83,5	10
	2	63	109	10			
	3	80	85,5	10	120	51	10
	4	100	67	10			
	5	125	53	10	190	31	10
	6	160	40,5	10			
 1:2	1	200	38	10	300	23	10
	2	250	30	10			
	3	315	24	10	476	14,2	10
	4	400	18	10			
	5	500	14,6	10	753	8,65	10
	6	630	11,4	10			
 1,25:1	1	500	14,8	10	753	8,85	10
	2	630	11,6	10			
	3	800	9	10	1200	5,35	10
	4	1000	7	10			
	5	1250	5,55	10	1900	3,14	10
	6	1600	4,18	10			
Примечание. Данные в таблице приведены для станков с пределами числа оборотов шпинделя в минуту 12,5—1600 и мощностью электродвигателя главного привода 10 кВт (13,4 англ. л. с.). Для станков, изготавливаемых по заказу, эти данные должны быть соответственно пересчитаны.							

21

Obrázek 8: Tabulka veškerých kombinací převodů z manuálu

Z tabulky vyčteme, že celkový počet možných zařazených převodů je 24. Převody při zařazených otáčkách 500 ot/min a 630 ot/min se duplikují. Skutečné otáčky při těchto zařazených převodech se však v malé míře liší, jak je vidět v tabulkách naměřených hodnot.



Obrázek 9: Štítek elektromotoru

Třífázový elektromotor M301 pracuje se střídavým proudem a konstantními otáčkami 1460 ot/min při napětí na síti 380 V. Veškeré elektromotory na svém místě slouží od výroby stroje. O jejich údržbě nelze hovořit, neboť elektromotory za dobu své existence žádné nepodléhaly.

U elektromotoru se mi nepodařilo zjistit rok jeho výroby. Budu tedy předpokládat, že rok výroby soustruhu je i rok výroby elektromotoru.

Elektromotor M301	Hodnota	Jednotka
Jmenovitý výkon	10	kW
Jmenovité otáčky	1460	ot/min
Pracovní elektrické napětí	380	V
Pracovní frekvence	50	Hz

Tabulka 3: Technické parametry elektromotoru M301





Obrázek 10: Pohled ze zadu soustruhu na umístění elektromotoru

Každý elektromotor je podvěšen pod rámem soustruhu. Přístup k elektromotoru je možný po odmontování 2 bezpečnostních krytů. Kvůli obtížnému přístupu jsem upustil od měření vibrací na motoru.

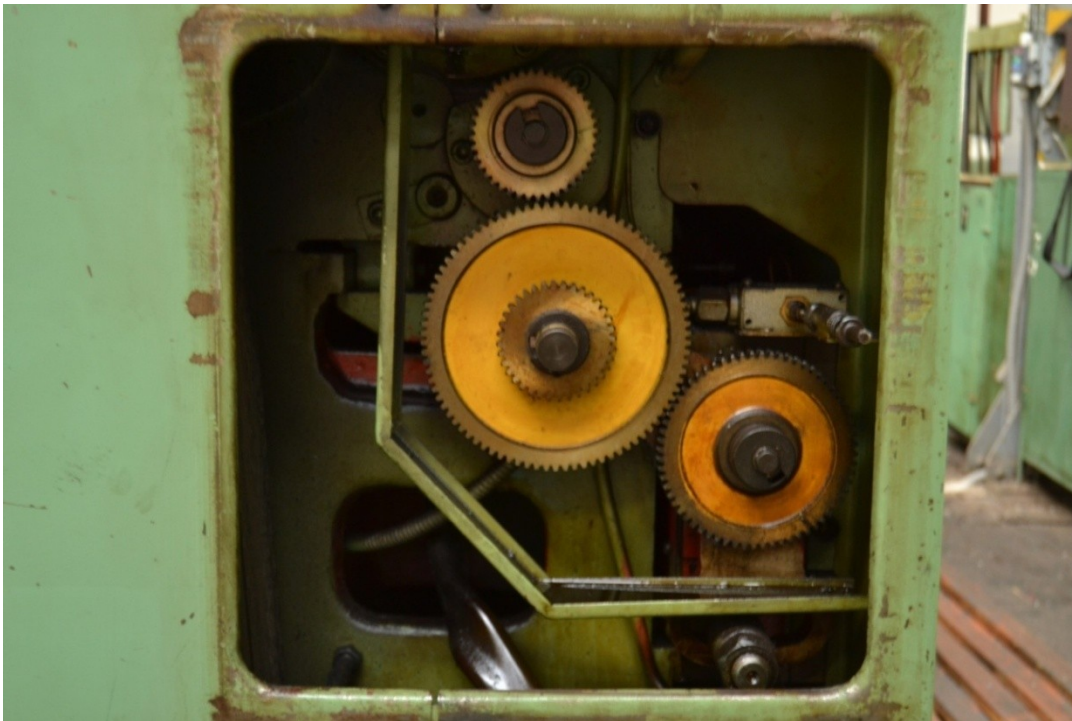
Jak je vidět na obrázku 10, stroj není k zemi nijak ukotven, je pouze položený na dřevěnou podlahu. Takové ustavení přispívá k šíření vibrací v celém stroji při práci, i při chodu naprázdno. V případě školního využití ustavení vyhovuje, pokud by se však jednalo o stroj takto umístěný ve strojírenském podniku, kvalita výroby by byla významně ovlivněna.



Obrázek 11: Vlevo náhon soustruhu řemenovou převodovkou, vpravo olejová nádrž mazání s čerpadlem

Elektromotor pohání pomocí 5 řemenů převodovku stroje. Sekundární řemen pohání olejové čerpadlo umístěné nad olejovou nádrží. Při prvním měření v Říjnu 2014 byly na stroji č. 11 řemeny uvolněny, nesplňující tedy požadavky na funkci. Při druhém měření v Květnu 2015, jsem kontroloval stav napnutí všech řemenů každého stroje a již bylo vše v pořádku.

Celé převodové ústrojí od elektromotoru k převodovce, je ukryto pod krytem s bezpečnostní pojistkou. Pokud kryt nedosedne přesně na své místo, pojistka nedovolí spuštění elektromotoru.



Obrázek 12: Převodovka pro strojní posuv

Převodovka strojního posuvu je přímo připojena k převodovce pohánějící vřeteno soustruhu. Z toho vyplývá, že rychlost strojního posuvu je závislá na zařazených otáčkách. Strojní posuv je při spuštění stroje z bezpečnostních důvodů neaktivní, uvádí se do provozu otočením páky aktivace strojního posuvu.

Vpravo na obrázku 12, vidíme čidlo bezpečnostní pojistky. Ta je rovněž jako u krytu převodového ústrojí, přímo napojena na napájení elektromotoru. Brání tak rozběhu motoru pokud není kryt řádně připevněn.





Obrázek 13: Kontrolka funkce olejového mazání

Kontrolka olejového mazání funguje na principu, kdy je mazací olej přiváděn trubičkou na vrtuli, která se otáčí. Slouží pro nás jako ujištění, že olejové čerpadlo pracuje. Závadu na některém vedení oleje však neodhalí.



Obrázek 14: Pohled na měřené ložisko L1 na levé straně převodové skříně



Obrázek 15: Pohled na měřené ložisko L2 umístěné na pravé straně převodové skříně

Obě ložiska L1 i L2, jsou zalisovány do pevného rámu soustruhu. Ložiska jsou mazána olejovým čerpadlem, které pohání elektromotor soustruhu. Jak již bylo řečeno, ložiska jsou ve stroji originální, nebyly měněny.

Ze schématu převodového ústrojí je patrné, že ložisko L1 (levé ložisko převodové skříně) se ve skutečnosti skládá ze dvou samostatných ložisek vedle sebe.

Seznam měřených ložisek				
Místo měření	Počet ložisek	GOST	Evropský ekvivalent	Typ ložiska
L1	2	46216	SKF 7216 BEP	Jednořadé radiální kuličkové s kosoúhlým stykem
L2	1	3182120	SKF NN 3020KTN9/SPW33	Dvouřadé radiální válečkové

Tabulka 4: Seznam měřených ložisek

Pro kompletnost údajů přikládám základní parametry ložisek v soustruhu 16k20. Údaje se týkají originálních ložisek dle normy GOST.

Ložisko 46216		
	Hodnota	Jednotka
d	80	mm
D	140	mm
B	26	mm
Hmotnost	1,475	kg
Referenční rychlost	5300	ot/min
Omezující rychlost	5300	ot/min
Dynamické C	80,6	kN
Statické C	69,5	kN

Tabulka 5: Základní údaje ložiska 46216

Ložisko 3182120		
	Hodnota	Jednotka
d	100	mm
D	150	mm
B	37	mm
Hmotnost	2,2	kg
Referenční rychlost	5300	ot/min
Omezující rychlost	6000	ot/min
Dynamické C	151	kN
Statické C	250	kN

Tabulka 6: Základní údaje ložiska 3182120



## 2.4 Seznámení s ovládacími prvky



Obrázek 16: Hlavní ovládací panel, nahoře hlavní vypínač, uprostřed ovládání převodovky a rychlosti posuvu, dole ovládání typu posuvu a páka spojky



Obrázek 17: Hlavní vypínač, kontrolka napájení, vypínač čerpadla pro chladící kapalinu

Hlavním vypínačem se zapíná přívod elektrické energie do stroje, to je signalizováno kontrolkou vedle vypínače. Přepínač vedle slouží ke spuštění čerpadla chladící kapaliny, která je přiváděna přímo na opracovávané místo pancéřovou hadicí.



Obrázek 18: Zcela vlevo řadič páka rychlostních stupňů, zcela vpravo páka řazení převodových poměrů, uprostřed nastavení strojního posuvu



Veškeré nastavení soustruhu se provádí pootočením příslušných ovladačů.

Z bezpečnostních důvodů by se s ovladači mělo manipulovat pouze při vypnutém bočním vypínači, který ovládá spouštění elektromotoru. Zejména při změně otáček vzniká nebezpečí úrazu, protože někdy je nutné pootočit ručně vřetenem, aby ozubená kola převodovky do sebe správně zapadla. Soustruh má zabudovanou bezpečnostní pojistku, v podobě krytu vřetene, který při otevření zamezí roztočení vřetene, ta však po letech provozu již nefunguje zcela spolehlivě.



Obrázek 19: Tabulka převodových poměrů a rychlostních stupňů s řadicí pákou převodových poměrů

Tabulka k řazení převodů je umístěna přímo nad jednou z řadicích pák, ve zjednodušené podobě. Kompletní tabulka z manuálu je na obrázku 8.



Obrázek 20: Suport soustruhu s vedlejším vypínačem a pákou ovládání strojního posuvu, vlevo vřeteno, vpravo koník, kolo a páka vlevo slouží k manuálnímu posuvu

## 3 Měření

### 3.1 Teoretický rozbor měření

K měření byl použit měřicí přístroj A4410 VA4 Pro, firmy ADASH. Firma ADASH se specializuje na výrobu a vývoj zařízení v oblasti vibrační diagnostiky a monitorování stavu strojních zařízení.

Základem měření je zjištění úrovně vibrací v horizontálním a vertikálním směru při různých otáčkových frekvencích. K tomu jsou určeny konkrétní snímače umístěné na rámu převodové skříně v příslušných směrech. K měření otáčkových frekvencí je použito laserové čidlo s odrazovou plochou umístěnou na vřetenu soustruhu.

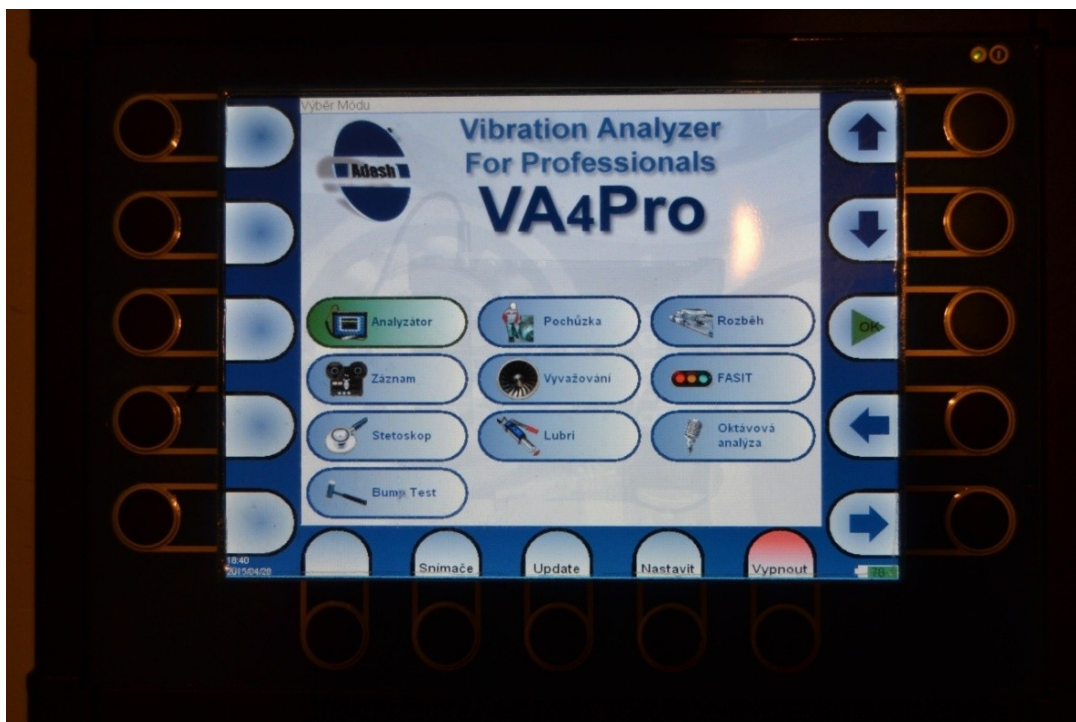
Výsledky získané pomocí funkce ZÁZNAM se vyhodnocují v analyzátoru, který je rovněž obsažen v měřicím přístroji. Z jednotlivých měření je následně sestaven trend vývoje úrovně vibrací každého stroje a určen stav ložisek v převodové skříně. Pro doplnění byly u každého soustruhu ještě změřeny úrovně vibrací při rozběhu na maximální otáčky 1600 ot/min s následným doběhem do klidového stavu.



Obrázek 21: ADASH A4410 VA4 Pro se sondami, zleva vertikální, horizontální, axiální



## 3.2 Popis měřicího přístroje a sond



Obrázek 22: Úvodní obrazovka A4410, po stranách jsou klávesy sloužící k ovládání přístroje

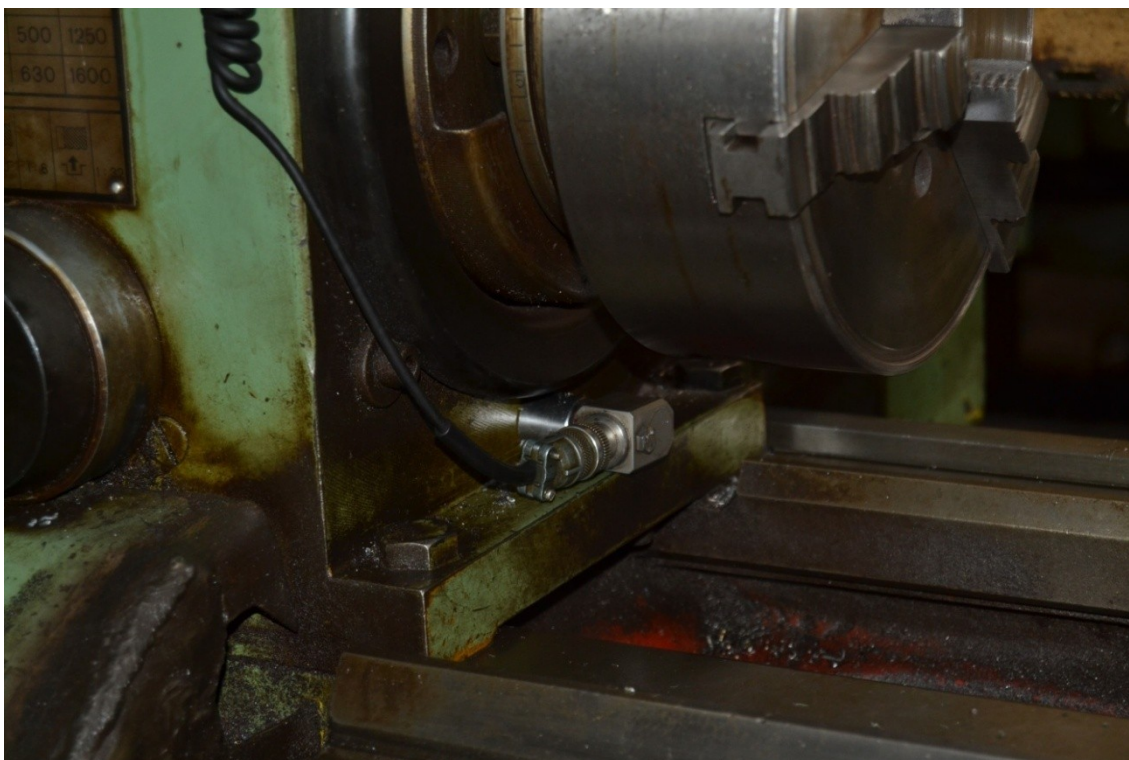
Ovládání měřicího přístroje je velmi jednoduché, intuitivní. Na úvodní obrazovce si zvolíme typ měření, které chceme provádět, v našem případě ZÁZNAM. K navigaci v menu a ovládání celého přístroje slouží postranní klávesy, jejichž funkci vždy zobrazuje legenda.

Jak je patrné na obrázku 21 v předchozí kapitole, do měřicího přístroje jsou připojeny 3 sondy. Na 1. kanálu je sonda pro měření vertikálních vibrací. Na 2. kanálu je připojena sonda pro měření horizontálních vibrací. Na 3. kanálu je sonda pro zachycení axiálních vibrací. Na pozici trigger byla pro měření připojena laserová sonda ke snímání frekvence otáček vřetena soustruhu (není na obrázku 21).



Obrázek 23: Umístění vertikální (nahore) a horizontální sondy (dole), při měření ložiska L1

Umístění vertikální a horizontální sondy souvisí s konstrukcí soustruhu. Protože nebylo možné měřit přímo na převodovce, zvolil jsem umístění sond na pevný rám soustruhu v místech, kde jsou umístěna ložiska vřeteníku. Vlevo ložisko L1, vpravo L2.



Obrázek 24: Umístění axiální sondy

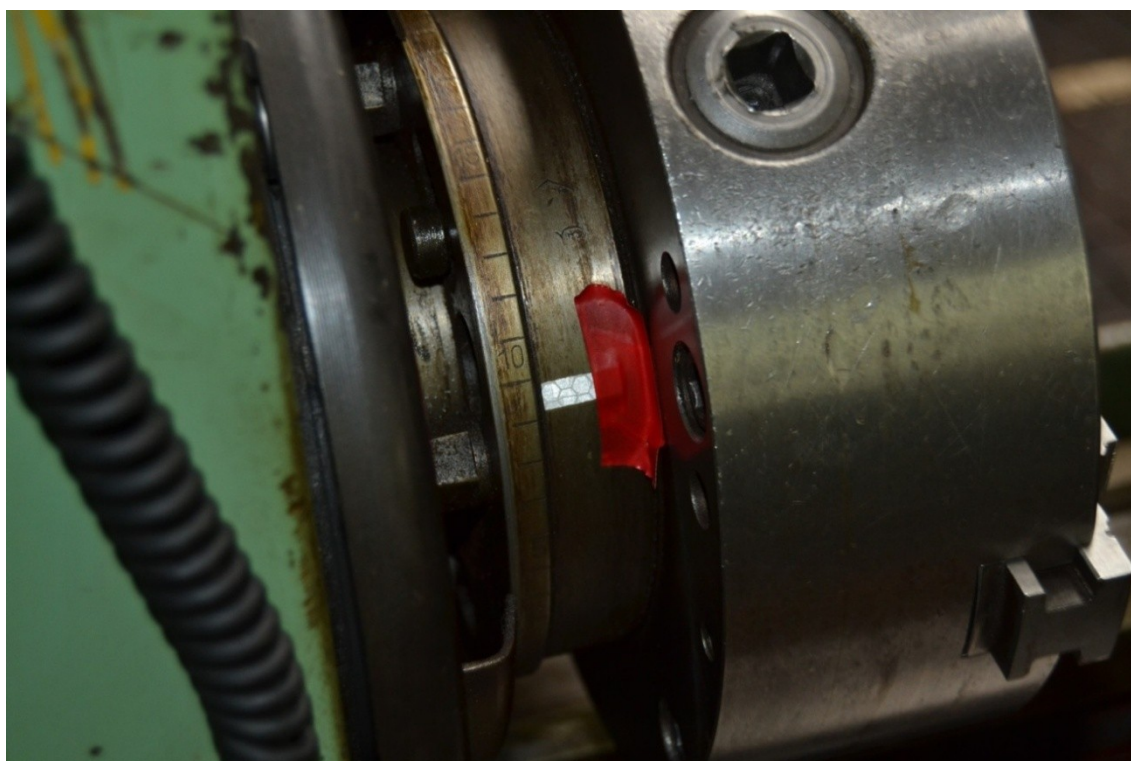
Axiální sonda je pro měření ložiska L1 i ložiska L2 umístěna pod vřetenem soustruhu (tedy v místě ložiska L2). Tento způsob umístění byl nutný, jelikož z levé strany soustruhu nebyl možný přístup k rámu stroje.

Tímto umístěním sondy se stávají hodnoty vibrací pro ložisko L1 zkreslené. Pokud však tyto hodnoty přesto překročí mezní hodnoty, je jasné, že ložisko je pro další provoz nevhodné.





Obrázek 25: Uspořádání měřicí soustavy při měření vibrací na ložisku L2



Obrázek 26: Reflexní proužek na vřetenu soustruhu

Reflexní proužek slouží jako odrazová plocha pro měření frekvence otáček bezdotykovým laserovým otáčkoměrem.



Obrázek 27: Laserová bezdotyková sonda pro snímání frekvence otáček

Sonda funguje na jednoduchém principu odrazu laseru od reflexního proužku. Na těle sondy je umístěna zelená dioda, která bliká pokaždé, když zaznamená odraz. To pro uživatele funguje jako kontrola správného namíření sondy, v případě že nemá možnost se přímo dívat na měřící přístroj.

### 3.3 Postup při měření

Měření jsem započal nastavením měřícího přístroje ADASH A4410. To sestávalo z nastavení správné citlivosti jednotlivých kanálů sond a připojení laserového triggeru pro měření otáček. Pro 1. kanál, tedy sondu měřící ve vertikálním směru je nastavena hodnota 98.6 mV/g, 2. kanál pro měření horizontálních vibrací má citlivost 94.5 mV/g a 3. kanál určený k měření vibrací v axiálním směru jsem nastavil na citlivost 93.7 mV/g. Nastavení triggeru bylo jednoduché, protože se pouze povolí jeho použití.

Pro správné změření frekvence otáček jsem použil reflexní proužek a umístil jej na otáčivou část vřetene soustruhu. Povrch vřetene byl velmi umaštěný, proto jsem se jej nejprve snažil dostatečně očistit. Reflexní proužky mají z jedné strany lepidlo, ta však na tak umaštěném povrchu nezajistila dostatečně silné připevnění, a proto jsem si vypomohl lepicí páskou.

Dalším krokem při přípravě měření bylo umístění měřících sond na správná místa na soustruhu. Sonda jsou připevněny k pevnému rámu soustruhu. Elektromotor je zcela zakrytován, nebyl jsem tedy schopen měřit vibraci přímo na něm. Měřil jsem tedy vibrace v ložiscích L1 a L2, ve kterých je uložen vřeteník. Bohužel z levé strany nebyl přístup k rámu soustruhu možný, neboť jej kryly kryty, pod kterými je umístěna řemenová převodovka pro čerpadlo chladicí kapaliny a pro pohon posuvového ústrojí. Axiální vibrace jsem tedy měřil pouze pod vřetenem soustruhu, kam byl nerušený přístup. I když ložisko L1 jsou ve skutečnosti 2 ložiska těsně vedle sebe, měřil jsem je jako 1 ložisko. Důvodem byla právě malá vzájemná vzdálenost těchto ložisek a nemožnost měřit každé samostatně.

Stroj jsem uvedl do provozu přepnutím jističe soustruhu do polohy I, dále spuštěním hlavního vypínače.

Vlastní měření probíhalo tak, že jsem si v měřícím přístroji A4400 vytvořil projekt v režimu ZÁZNAM, s správně nastavenou citlivostí pro jednotlivé kanály. Dále jsem nastavil pomocí řadicích pák soustruhu požadovaný převodový poměr, tedy otáčky vřetene soustruhu. Pak jsem spustil elektromotor vedlejším vypínačem a spojkou uvedl vřeteno do pohybu. Protože se jedná o staré stroje, nejprve jsem vždy počkal na to až soustruh dosáhne požadovaných otáček, což bylo poznat sluchem. Jakmile stroj dosáhl požadovaných otáček, připravil jsem si laserový trigger a namířil jej na místo, kde jsem umístil reflexní proužek. To, že trigger funguje správně, jsem poznal podle zeleně blikající diody na těle triggeru, která blikala pokaždé, když trigger zaznamenal odraz laseru. V tu chvíli jsem spustil i samotné měření měřícím přístrojem. Ten na grafu zobrazoval aktuální vibrace v jednotlivých směrech a frekvenci otáček.

Z každého měření jsem pořídil minimálně 20 s záznam, tak abych byl schopen vyloučit případné chyby vzniklé při měření.

Následně jsem odpojil pohon vřetena pomocí páky spojky a uvedl soustruh do klidového stavu. Připravil jsem si další měření, změnil převodový poměr, a celý postup zopakoval.

U každého soustruhu jsem provedl 10 měření na ložisku L1 a 10 měření na ložisku L2. Měření jsem prováděl pokaždé při 40, 160, 500, 630 (tyto otáčky jsem měřil dvakrát), 800, 1000, 1250 a 1600 ot/min.

### 3.4 Naměřené hodnoty

Veškeré naměřené hodnoty, které jsem získal, jsem si uložil ve vlastním počítači a využil k vyhodnocení vlastní kopii programu ADASH A4410 VA4 Pro.

Pro vyhodnocení stavu ložisek jsem postupoval dle normy ČSN 20 0065 – norma pro obráběcí zařízení.

Stanovené hodnoty kmitání pro stroje o největším průměru D nad suportem					
		Jednotka	Hodnoty		
Oběžný průměr	D	mm	do 200	nad 200 do 800	nad 800
Mezní hodnoty	$V_{RMS}$	mm/s	1,12	1,8	2,8

Tabulka 7: Mezní hodnoty vibrací dle ČSN 20 0065

Soustruh 16k20 má dle technické dokumentace největší oběžný průměr nad suportem 220mm. Dle tabulky by odpovídaly mezní hodnoty  $V_{RMS}$  1,8 mm/s.

Mezní hodnoty pro zrychlení  $A_{RMS}$  nejsou určeny normou, hodnocení se zakládá pouze na zkušenostech z provozu. Tyto meze jsem volil po konzultaci s p. Ing. Janem Blatou, Ph.D.

Vyhodnocení jsem provedl pomocí funkce ANALYZÁTOR.

Pro úplnost přikládám tabulku naměřených hodnot pro jednotlivé nastavené otáčky a jejich skutečnou hodnotu u každého měřeného stroje a měřícího místa. Kvůli přehlednosti jsou vyhovující hodnoty podbarveny zelenou barvou, žlutou jsou podbarveny zhoršené hodnoty a nakonec červenou barvou jsou podbarveny hodnoty, které překračují povolené případně zvolené hodnoty.

Tabulka hodnocení kmitů				
	Jednotka	Hodnota		
$V_{RMS}$	mm/s	do 1	od 1 do 1,5	nad 1,5
$A_{RMS}$	g	do 1,5	od 1,5 do 2,5	nad 2,5

Tabulka 8: Grafické hodnocení naměřených vibrací

Efektivní hodnoty rychlostí RMS v pásmu 10-1000 HZ a zrychlení g v pásmu 500-25600 Hz											
Stroj	8										
Datum	29.4.2015										
Měřicí místo	L1										
Nast. otáčky	ot/min	40	160	500	630	630 (2)	800	1000	1250	1600	
Skut. otáčky	ot/min	41	164	496	654	625	801	1010	1298	1634	
Nast. frek.	Hz	0,667	2,667	8,333	10,500	10,500	13,333	16,667	20,833	26,667	
Skut. frek.	Hz	0,683	2,733	8,267	10,900	10,417	13,350	16,833	21,633	27,233	
Efektivní rychlost V <sub>RMS</sub>	mm/s	Vert.	0.161	0.176	0.179	0.236	0.290	0.271	0.228	0.216	0.298
	mm/s	Hor.	0.518	0.610	0.621	0.634	0.700	0.934	0.715	0.768	0.985
	mm/s	Ax.	0.094	0.126	0.117	0.134	0.138	0.133	0.150	0.130	0.194
Efektivní zrychlení A <sub>RMS</sub>	g	Vert.	0.737	1.3	0.414	0.958	0.694	0.685	1.8	1.10	1.63
	g	Hor.	0.328	0.454	0.230	0.534	0.435	0.423	0.671	0.738	1.8
	g	Ax.	0.189	0.281	0.146	0.285	0.233	0.229	0.328	0.322	0.452

Tabulka 9: Naměřené hodnoty soustruhu 8 v měřicím místě L1

U soustruhu 8 v měřeném místě L1 můžeme vidět, že hodnoty efektivní rychlosti vibrací jsou v normě, ale efektivní zrychlení mírně překračuje zvolené limity.

Efektivní hodnoty rychlostí RMS v pásmu 10-1000 HZ a zrychlení g v pásmu 500-25600 Hz											
Stroj	8										
Datum	29.4.2015										
Měřicí místo	L2										
Nast. otáčky	ot/min	40	160	500	630	630 (2)	800	1000	1250	1600	
Skut. otáčky	ot/min	41	164	496	654	625	801	1010	1298	1634	
Nast. frek.	Hz	0,667	2,667	8,333	10,500	10,500	13,333	16,667	20,833	26,667	
Skut. frek.	Hz	0,683	2,733	8,267	10,900	10,417	13,350	16,833	21,633	27,233	
Efektivní rychlost V <sub>RMS</sub>	mm/s	Vert.	0.113	0.156	0.194	0.286	0.237	0.262	0.357	0.257	0.338
	mm/s	Hor.	1.21	1.1	0.850	0.955	0.496	0.595	1.35	0.630	0.614
	mm/s	Ax.	0.084	0.119	0.119	0.118	0.117	0.123	0.145	0.125	0.173
Efektivní zrychlení A <sub>RMS</sub>	g	Vert.	0.392	0.534	0.263	0.377	0.502	0.389	0.618	0.558	0.764
	g	Hor.	0.274	0.611	0.322	0.486	0.593	0.496	0.654	0.756	0.959
	g	Ax.	0.202	0.286	0.160	0.228	0.301	0.234	0.354	0.364	0.475

Tabulka 10: Naměřené hodnoty soustruhu 8 v měřicím místě L2

U soustruhu 8 si můžeme všimnout zhoršených parametrů ložiska L2 při relativně nízkých otáčkách 40 ot/min a 160 ot/min, dále pak při 1000 ot/min. Tyto zhoršené parametry přikládám na vrub zhoršeným parametrům ozubených kol, protože se vyskytují výhradně v horizontálním směru.



Efektivní hodnoty rychlostí RMS v pásmu 10-1000 Hz a zrychlení g v pásmu 500-25600 Hz											
Stroj	9										
Datum	29.4.2015										
Měřicí místo	L1										
Nast. otáčky	ot/min		40	160	500	630	630 (2)	800	1000	1250	1600
Skut. otáčky	ot/min		41	164	497	626	657	804	1012	1301	1637
Nast. frek.	Hz		0,667	2,667	8,333	10,500	10,500	13,333	16,667	20,833	26,667
Skut. frek.	Hz		0,683	2,733	8,283	10,433	10,950	13,400	16,867	21,683	27,283
Efektivní rychlost $V_{RMS}$	mm/s	Vert.	0.284	0.304	0.290	0.282	0.308	0.361	0.337	0.328	0.379
	mm/s	Hor.	1.4	1.36	1.33	1.28	1.42	1.38	1.22	1.37	1.38
	mm/s	Ax.	0.254	0.287	0.297	0.292	0.303	0.302	0.754	0.427	0.400
Efektivní zrychlení $A_{RMS}$	g	Vert.	0.728	0.899	0.452	1.01	1.16	0.730	1.75	0.682	2.47
	g	Hor.	0.778	0.987	0.313	1.24	1.22	0.605	1.61	0.640	1.61
	g	Ax.	0.265	0.360	0.186	0.337	0.359	0.261	0.525	0.305	0.520

Tabulka 11: Naměřené hodnoty soustruhu 9 v měřicím místě L1

U naměřených hodnot soustruhu 9 pro ložisko L1 vykazují zhoršené parametry efektivní rychlosti vibrací v horizontálním směru a dále horší parametry pro efektivní zrychlení vibrací ve vertikálním i horizontálním směru při vyšších otáčkách, příkládám za vinu ozubeným kolům převodovky a špatnému ustavení.

Efektivní hodnoty rychlostí RMS v pásmu 10-1000 Hz a zrychlení g v pásmu 500-25600 Hz											
Stroj	9										
Datum	29.4.2015										
Měřicí místo	L2										
Nast. otáčky	ot/min		40	160	500	630	630 (2)	800	1000	1250	1600
Skut. otáčky	ot/min		41	164	497	626	657	804	1012	1301	1637
Nast. frek.	Hz		0,667	2,667	8,333	10,500	10,500	13,333	16,667	20,833	26,667
Skut. frek.	Hz		0,683	2,733	8,283	10,433	10,950	13,400	16,867	21,683	27,283
Efektivní rychlost $V_{RMS}$	mm/s	Vert.	0.185	0.211	0.184	0.241	0.209	0.366	0.367	0.278	0.359
	mm/s	Hor.	1.31	1.1	1.23	1.36	1.35	1.41	1.43	1.34	1.33
	mm/s	Ax.	0.244	0.289	0.288	0.304	0.329	0.441	0.561	0.354	0.423
Efektivní zrychlení $A_{RMS}$	g	Vert.	0.513	0.868	0.298	0.669	0.667	0.694	0.930	0.458	0.854
	g	Hor.	0.395	0.594	0.177	0.460	0.489	0.541	0.824	0.378	0.655
	g	Ax.	0.256	0.335	0.186	0.345	0.367	0.543	0.492	0.294	0.436

Tabulka 12: Naměřené hodnoty soustruhu 9 v měřicím místě L2

Stejně jako v tabulce 11 pro ložisko L1, i v tabulce 12 vykazuje ložisko L2 zhoršené parametry v horizontálním směru, to podporuje mou domněnku o zhoršených parametrech ozubených kol převodovky.

Efektivní hodnoty rychlostí RMS v pásmu 10-1000 HZ a zrychlení g v pásmu 500-25600 Hz											
Stroj	10										
Datum	29.4.2015										
Měřicí místo	L1										
Nast. otáčky	ot/min	40	160	500	630	630 (2)	800	1000	1250	1600	
Skut. otáčky	ot/min	41	163	494	622	652	798	1006	1293	1625	
Nast. frek.	Hz	0,667	2,667	8,333	10,500	10,500	13,333	16,667	20,833	26,667	
Skut. frek.	Hz	0,683	2,717	8,233	10,367	10,867	13,300	16,767	21,550	27,083	
Efektivní rychlost V <sub>RMS</sub>	mm/s	Vert.	0.316	0.343	0.348	0.455	0.357	0.512	0.629	0.480	1.23
	mm/s	Hor.	2.17	2.21	2.01	1.95	2.43	5.21	2.39	2.36	2.44
	mm/s	Ax.	0.299	0.305	0.251	0.250	0.287	0.567	0.359	0.371	0.594
Efektivní zrychlení A <sub>RMS</sub>	g	Vert.	0.914	1.21	0.604	1.28	1.19	0.776	1.59	1.07	1.39
	g	Hor.	0.562	0.741	0.400	0.892	0.781	0.507	1.31	1.05	1.40
	g	Ax.	0.382	0.515	0.273	0.314	0.482	0.262	0.484	0.697	0.782

Tabulka 13: Naměřené hodnoty soustruhu 10 v měřicím místě L1

Ložisko L1 soustruhu 10 vykazuje nejhorší parametry z celé skupiny měřených strojů. Parametry ložiska L1 překračují mezní hodnoty normy v horizontálním směru, zvýšené jsou i vibrace ve vertikálním směru při maximálních otáčkách.

Efektivní hodnoty rychlostí RMS v pásmu 10-1000 HZ a zrychlení g v pásmu 500-25600 Hz											
Stroj	10										
Datum	29.4.2015										
Měřicí místo	L2										
Nast. otáčky	ot/min	40	160	500	630	630 (2)	800	1000	1250	1600	
Skut. otáčky	ot/min	41	163	494	622	652	798	1006	1293	1625	
Nast. frek.	Hz	0,667	2,667	8,333	10,500	10,500	13,333	16,667	20,833	26,667	
Skut. frek.	Hz	0,683	2,717	8,233	10,367	10,867	13,300	16,767	21,550	27,083	
Efektivní rychlost V <sub>RMS</sub>	mm/s	Vert.	0.194	0.198	0.193	0.205	0.197	0.488	0.298	0.390	1.12
	mm/s	Hor.	2.16	2.04	1.94	2.10	1.95	6.14	2.77	2.23	2.37
	mm/s	Ax.	0.327	0.298	0.259	0.282	0.279	0.741	0.422	0.369	0.604
Efektivní zrychlení A <sub>RMS</sub>	g	Vert.	0.442	0.617	0.338	0.666	0.522	0.403	0.855	0.828	0.924
	g	Hor.	0.345	0.479	0.211	0.453	0.301	0.257	0.451	0.436	0.635
	g	Ax.	0.391	0.535	0.252	0.509	0.308	0.275	0.484	0.606	0.785

Tabulka 14: Naměřené hodnoty soustruhu 10 v měřicím místě L2

Stejně jako ložisko L1 i ložisko L2 překračuje mezní hodnoty povolené normou. Ozubená kola převodovky jsou tedy opotřebovaná a způsobují vibrace v ložiscích.

Efektivní hodnoty rychlostí RMS v pásmu 10-1000 Hz a zrychlení g v pásmu 500-25600 Hz											
Stroj	11										
Datum	7.10.2014										
Měřicí místo	L1										
Nast. otáčky	ot/min		40	160	500	630	630 (2)	800	1000	1250	1600
Skut. otáčky	ot/min		41	164	496	624	655	802	1008	1296	1628
Nast. frek.	Hz		0,667	2,667	8,333	10,500	10,500	13,333	16,667	20,833	26,667
Skut. frek.	Hz		0,683	2,733	8,267	10,400	10,917	13,367	16,800	21,600	27,133
Efektivní rychlost $V_{RMS}$	mm/s	Vert.	0.232	0.299	0.235	0.294	0.399	0.339	0.429	0.361	0.425
	mm/s	Hor.	0.472	0.532	0.514	0.654	0.563	0.614	0.655	0.789	0.836
	mm/s	Ax.	0.273	0.448	0.383	0.660	0.619	0.713	0.706	0.614	1.02
Efektivní zrychlení $A_{RMS}$	g	Vert.	3.14	3.93	0.750	1.92	4.59	1.37	2.42	1.46	2.34
	g	Hor.	0.915	1.05	0.357	0.950	1.04	0.421	0.971	0.758	1.13
	g	Ax.	0.805	0.983	0.411	0.782	0.948	0.607	0.948	0.834	1.38

Tabulka 15: Naměřené hodnoty soustruhu 11 v měřicím místě L1

Naměřené hodnoty ložiska L1 soustruhu 11 vykazují zhoršené parametry efektivní rychlosti v axiálním směru při maximálních otáčkách 1600 ot/min. Hodnoty efektivního zrychlení však ve vertikálním směru velmi překračují zvolené limity pro hodnocení.

Efektivní hodnoty rychlostí RMS v pásmu 10-1000 Hz a zrychlení g v pásmu 500-25600 Hz											
Stroj	11										
Datum	7.10.2014										
Měřicí místo	L2										
Nast. otáčky	ot/min		40	160	500	630	630 (2)	800	1000	1250	1600
Skut. otáčky	ot/min		41	164	496	624	655	802	1008	1296	1628
Nast. frek.	Hz		0,667	2,667	8,333	10,500	10,500	13,333	16,667	20,833	26,667
Skut. frek.	Hz		0,683	2,733	8,267	10,400	10,917	13,367	16,800	21,600	27,133
Efektivní rychlost $V_{RMS}$	mm/s	Vert.	0.147	0.224	0.365	0.921	0.533	0.780	0.564	0.823	1.14
	mm/s	Hor.	0.353	0.453	0.285	0.360	0.474	0.479	0.491	0.627	0.520
	mm/s	Ax.	0.292	0.358	0.374	0.734	0.661	0.832	0.661	0.785	0.996
Efektivní zrychlení $A_{RMS}$	g	Vert.	0.441	0.580	0.272	0.555	0.591	0.534	0.842	0.854	1.33
	g	Hor.	0.595	1.16	0.255	0.430	1.03	0.330	0.536	0.563	0.820
	g	Ax.	0.801	0.903	0.374	0.825	0.926	0.600	0.922	0.799	1.34

Tabulka 16: Naměřené hodnoty soustruhu 11 v měřicím místě L2

Ložisko L2 dosáhlo zhoršených parametrů při měření pouze při otáčkách 1600 ot/min a to ve vertikálním směru. Toto zhoršení dávám za vinu opět špatnému ustavení stroje na podlaze bez řádného ukotvení proti přenosu vibrací. Na toto jsem měl podezření již při měření, protože se při těchto otáčkách celý stroj viditelně rozvibroval.

Efektivní hodnoty rychlostí RMS v pásmu 10-1000 HZ a zrychlení g v pásmu 500-25600 Hz											
Stroj	12										
Datum	28.4.2015										
Měřicí místo	L1										
Nast. otáčky	ot/min	40	160	500	630	630 (2)	800	1000	1250	1600	
Skut. otáčky	ot/min	41	163	495	623	652	799	1007	1295	1627	
Nast. frek.	Hz	0,667	2,667	8,333	10,500	10,500	13,333	16,667	20,833	26,667	
Skut. frek.	Hz	0,683	2,717	8,250	10,383	10,867	13,317	16,783	21,583	27,117	
Efektivní rychlost V <sub>RMS</sub>	mm/s	Vert.	0.189	0.231	0.221	0.203	0.263	0.257	0.343	0.267	0.314
	mm/s	Hor.	0.384	0.478	0.515	0.446	0.413	0.630	0.931	0.603	0.563
	mm/s	Ax.	0.183	0.356	0.229	0.237	0.297	0.287	0.308	0.286	0.326
Efektivní zrychlení A <sub>RMS</sub>	g	Vert.	0.839	0.943	0.330	0.757	1.00	0.554	1.21	0.793	1.29
	g	Hor.	0.554	0.647	0.235	0.592	0.682	0.352	0.727	0.518	0.942
	g	Ax.	0.425	0.604	0.352	0.505	0.462	0.486	1.20	0.598	0.820

Tabulka 17: Naměřené hodnoty soustruhu 12 v měřicím místě L1

Efektivní hodnoty rychlostí RMS v pásmu 10-1000 HZ a zrychlení g v pásmu 500-25600 Hz											
Stroj	12										
Datum	28.4.2015										
Měřicí místo	L2										
Nast. otáčky	ot/min	40	160	500	630	630 (2)	800	1000	1250	1600	
Skut. otáčky	ot/min	41	163	495	623	652	799	1007	1295	1627	
Nast. frek.	Hz	0,667	2,667	8,333	10,500	10,500	13,333	16,667	20,833	26,667	
Skut. frek.	Hz	0,683	2,717	8,250	10,383	10,867	13,317	16,783	21,583	27,117	
Efektivní rychlost V <sub>RMS</sub>	mm/s	Vert.	0.128	0.203	0.365	0.642	0.400	0.547	0.515	0.605	0.676
	mm/s	Hor.	0.299	0.294	0.485	0.317	0.408	0.546	0.536	0.463	0.424
	mm/s	Ax.	0.243	0.320	0.193	0.243	0.322	0.223	0.279	0.260	0.302
Efektivní zrychlení A <sub>RMS</sub>	g	Vert.	0.497	0.900	0.359	0.515	0.726	0.809	1.58	0.978	1.87
	g	Hor.	0.256	0.358	0.172	0.237	0.287	0.254	0.433	0.323	0.516
	g	Ax.	0.355	0.514	0.338	0.502	0.452	0.551	1.23	0.601	0.861

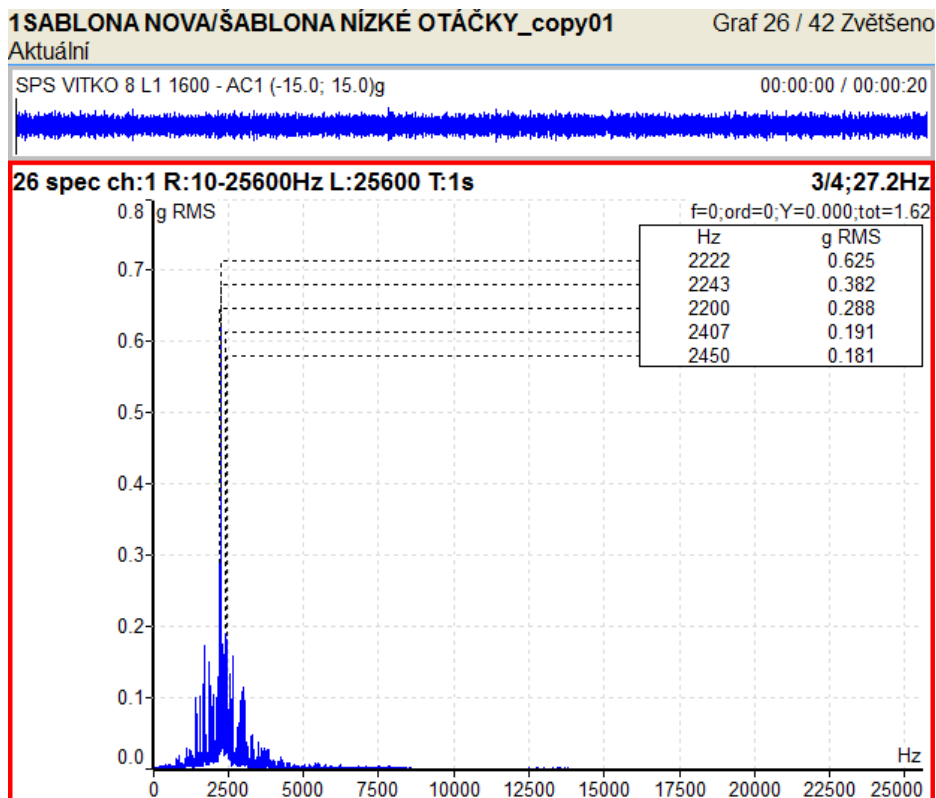
Tabulka 18: Naměřené hodnoty soustruhu 12 v měřicím místě L2

Soustruh 12, co se týče technického stavu ložisek, vykazoval nejlepší chod, hodnoty efektivního zrychlení však v ložisku L2 při vyšších otáčkách a ve vertikálním směru vykazovali zhoršení parametrů ložiska.

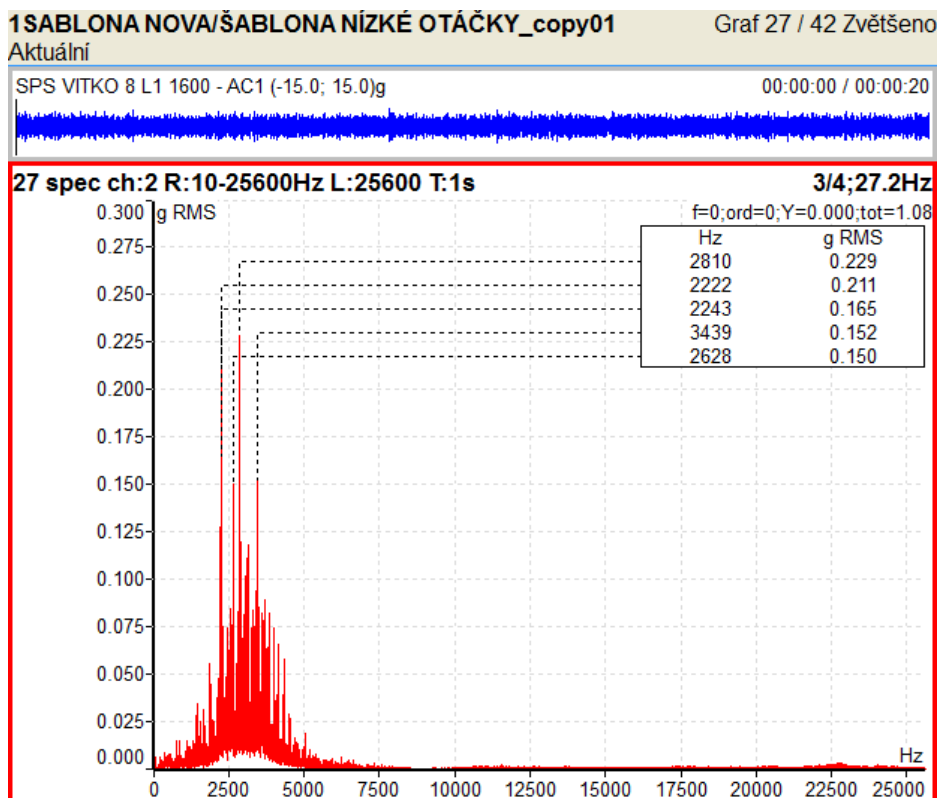
V následujícím hodnocení jsem vybral pouze naměřené hodnoty efektivních zrychlení vibrací a efektivních rychlostí v RMS, které v předešlých tabulkách překračovaly, nebo se velmi blížily k překročení meze dané normou.

Udávám grafy pouze pro maximální otáčky 1600 ot/min, neboť norma ČSN 20 0065 se vztahuje na stroje v provozu mimo záběr, při jejich maximálních konstrukčních otáčkách.

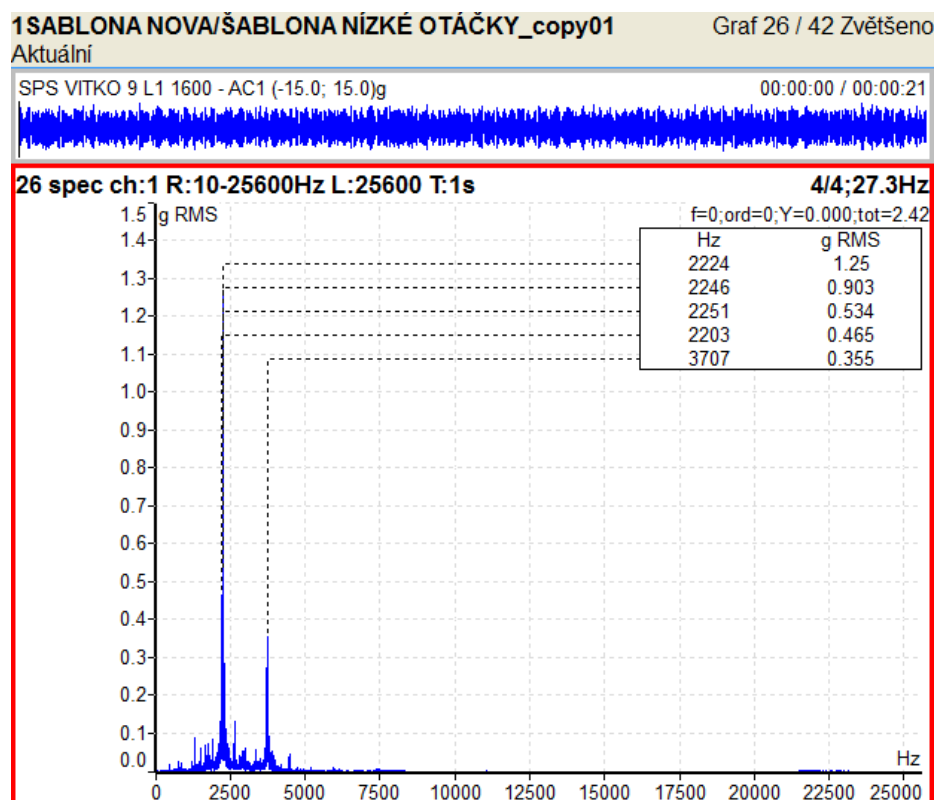
U nejhorších strojů také uvádím obálku zrychlení.



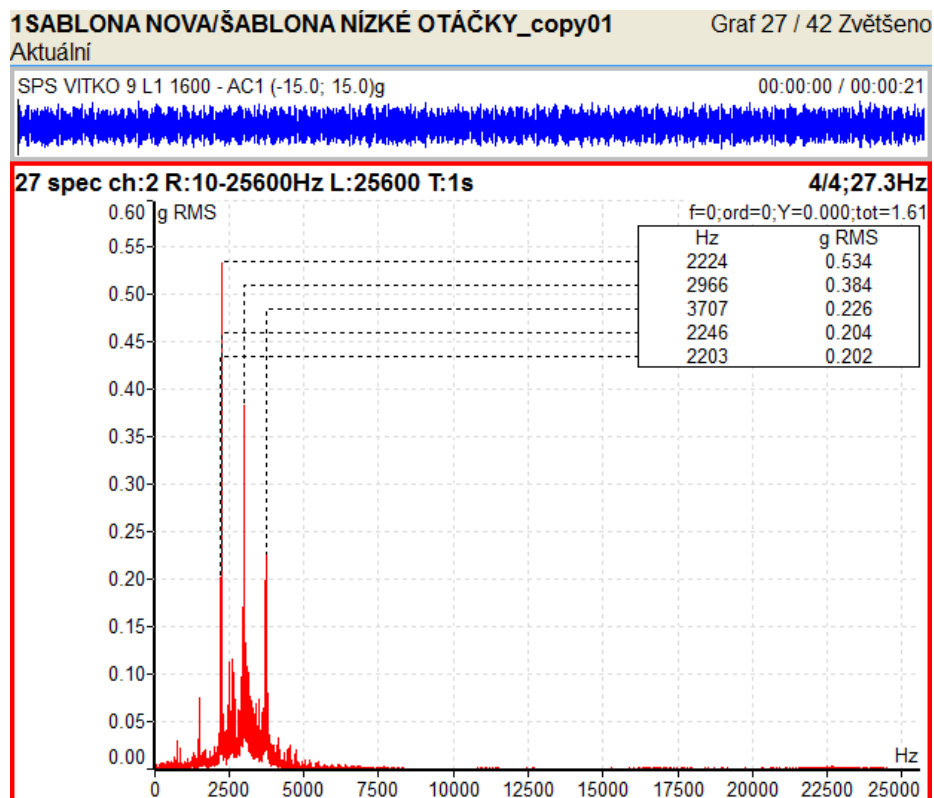
Obrázek 28: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 8 ve vertikálním směru, L1



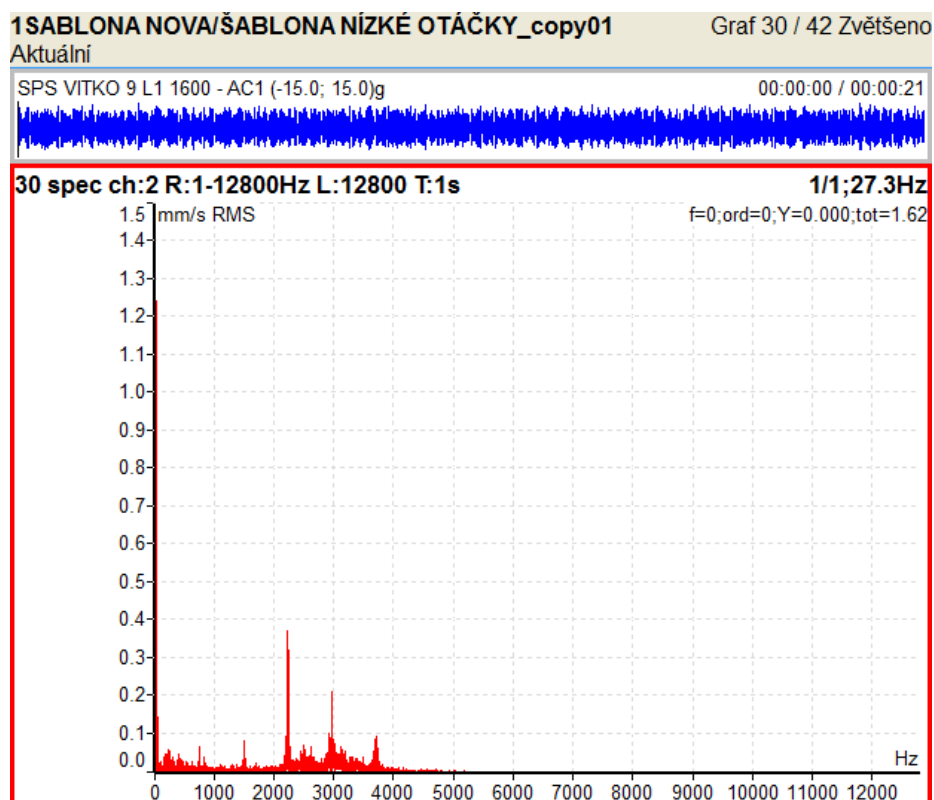
Obrázek 29: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 8 v horizontálním směru, L1



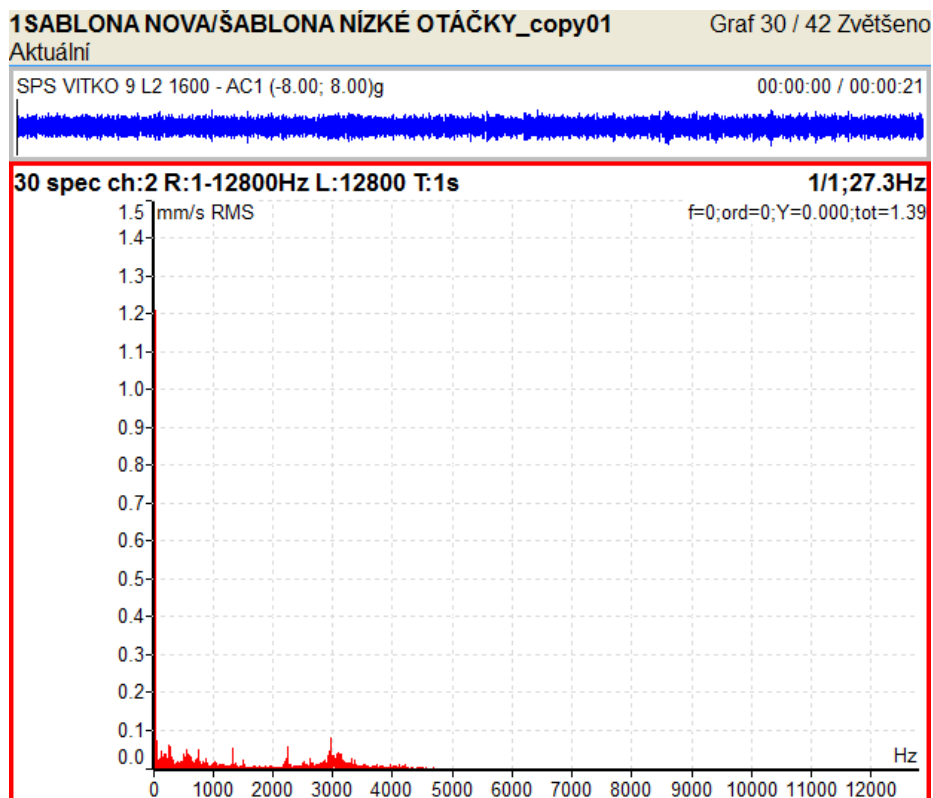
Obrázek 30: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 9 ve vertikálním směru, L1



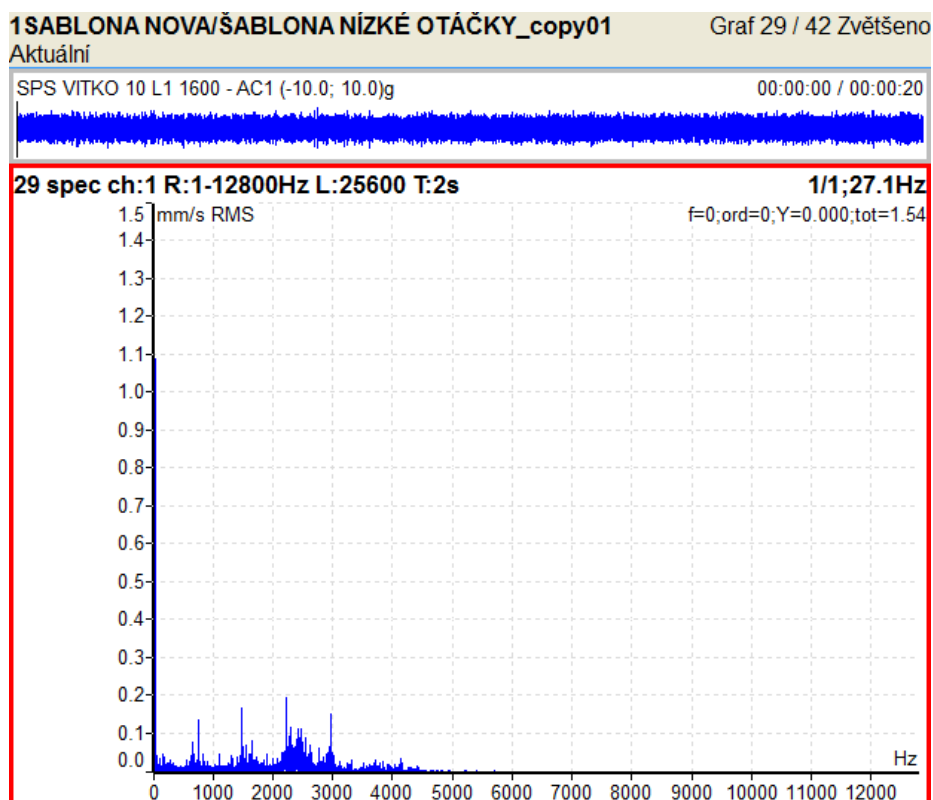
Obrázek 31: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 9 v horizontálním směru,  
L1



Obrázek 32: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 9 v horizontálním směru,  
L1

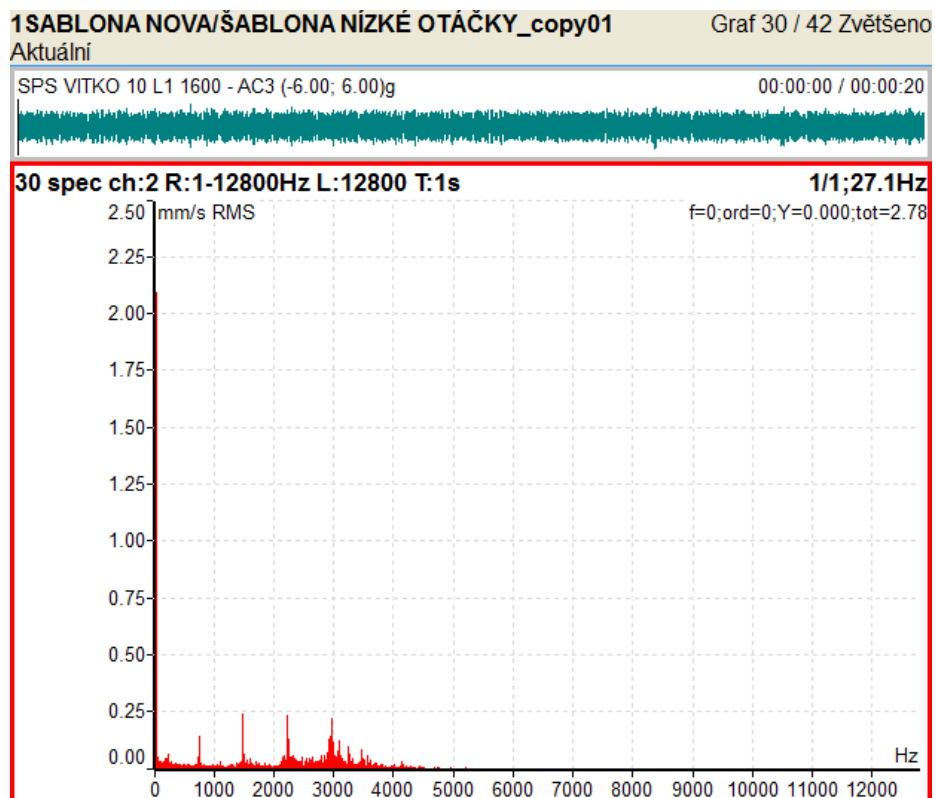


Obrázek 33: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 9 v horizontálním směru, L2

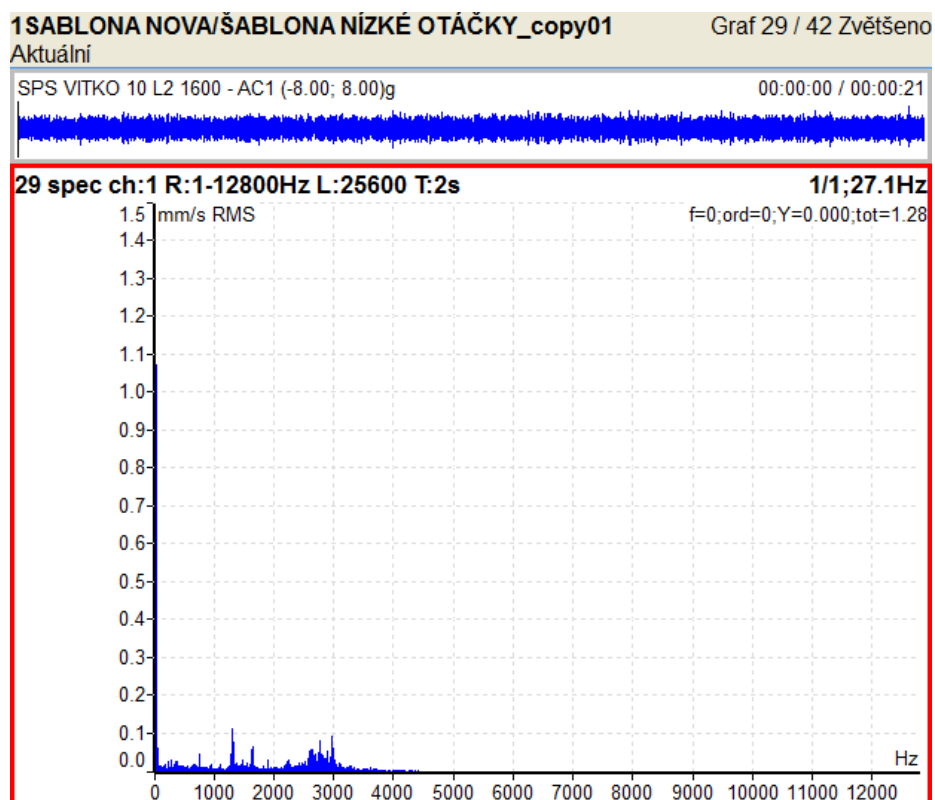


Obrázek 34: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 10 ve vertikálním směru, L1

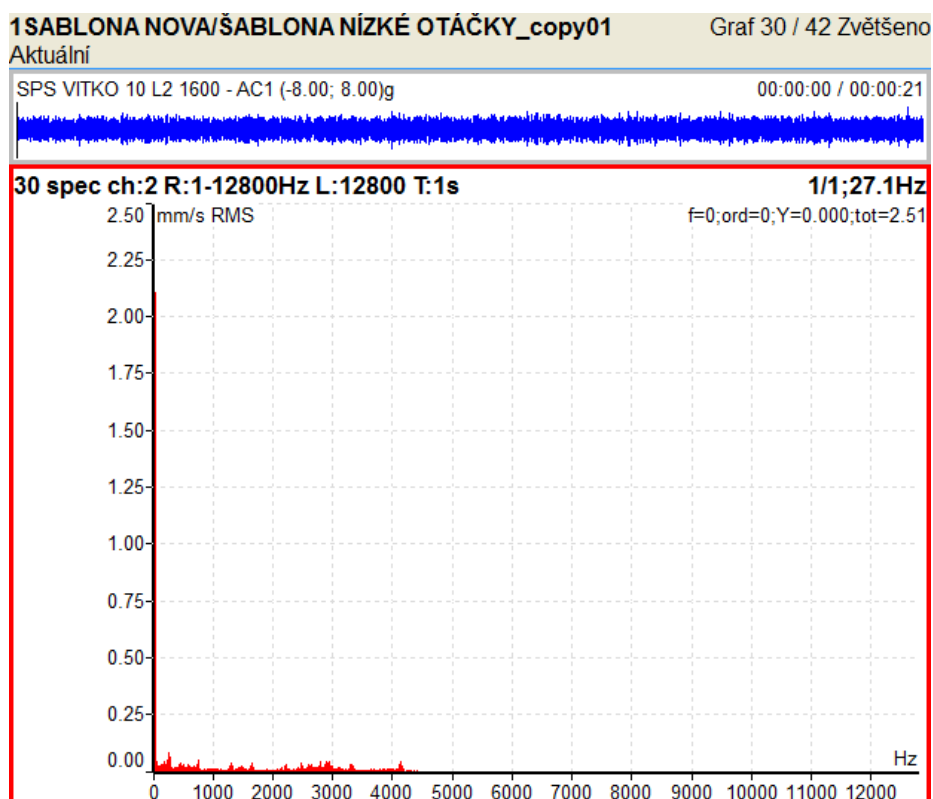




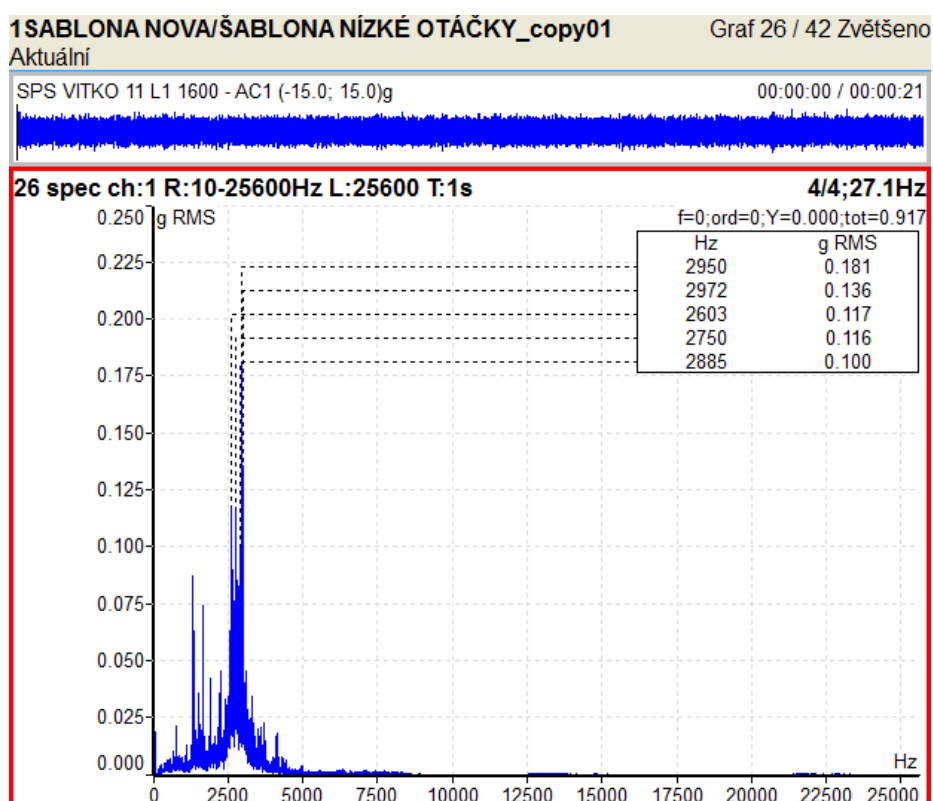
Obrázek 35: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 10 v horizontálním směru, L1



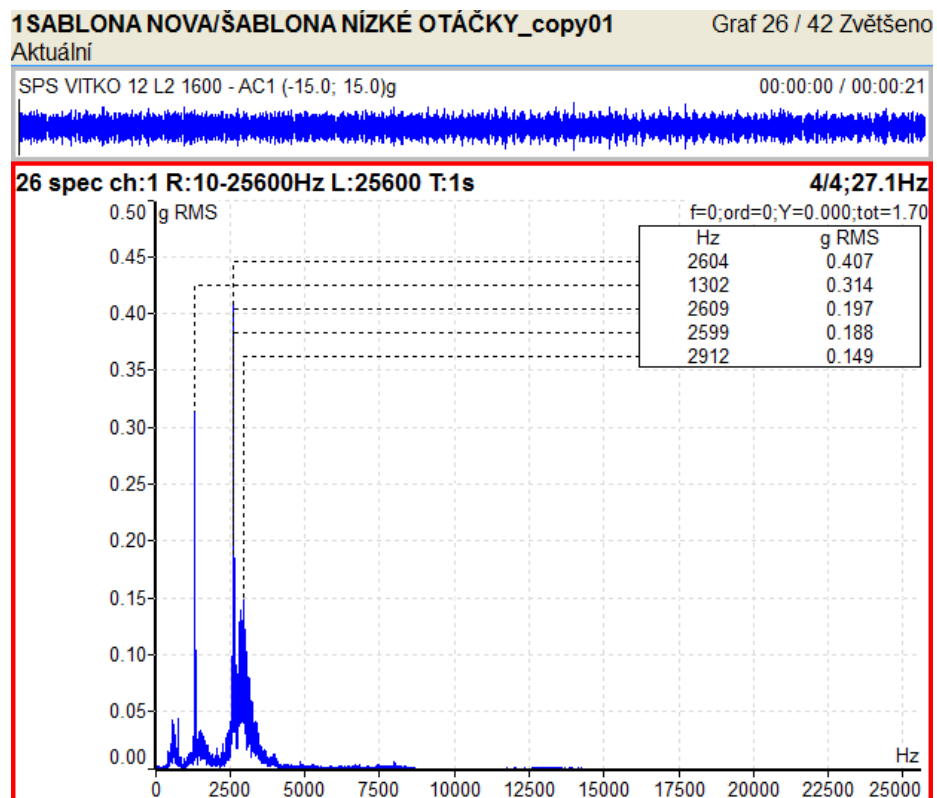
Obrázek 36: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 10 ve vertikálním směru, L2



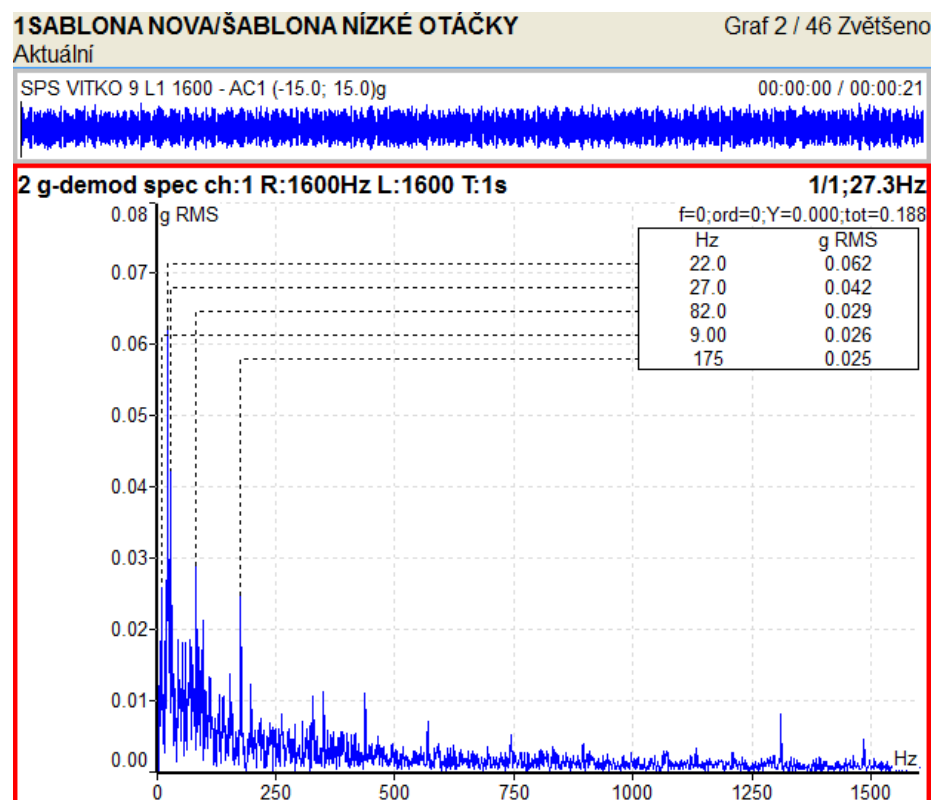
Obrázek 37: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 10 v horizontálním směru,  
L2



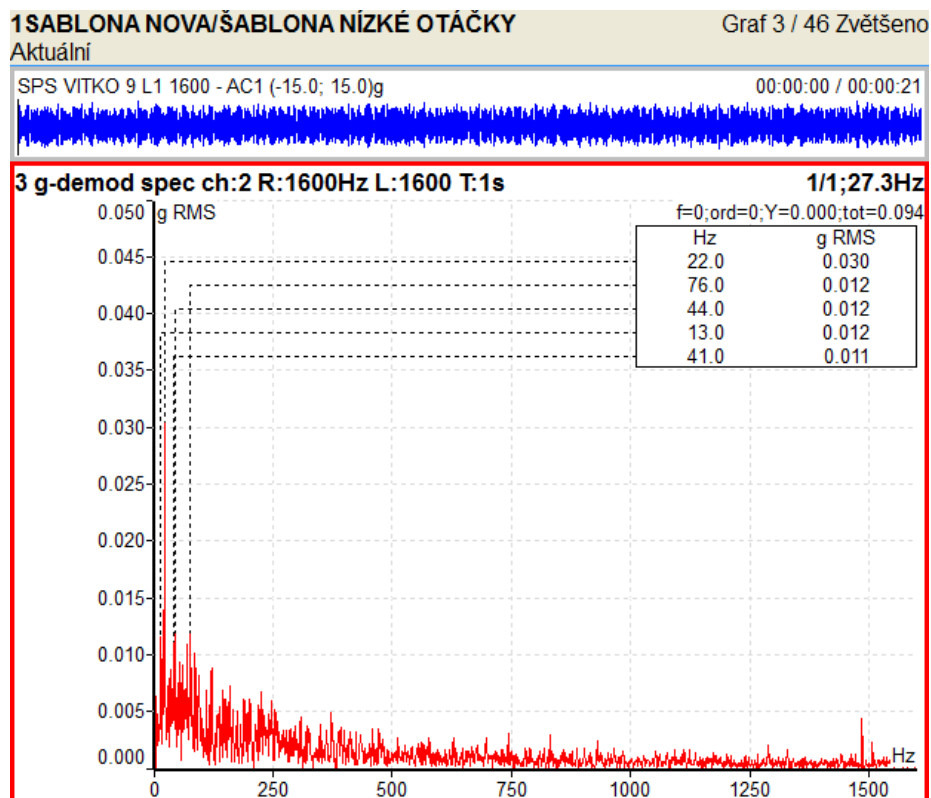
Obrázek 38: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 11 ve vertikálním směru,  
L1



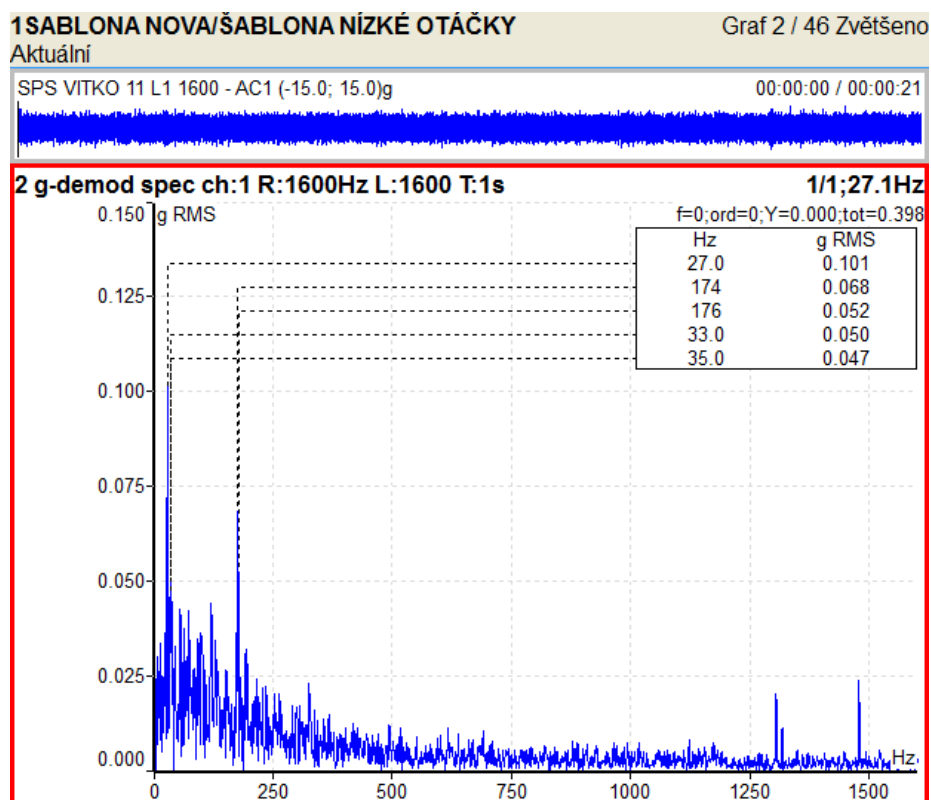
Obrázek 39: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 12 ve vertikálním směru, L2



Obrázek 40: Obálka zrychlení pro soustruh 9 a ložisko L1 ve vertikálním směru



Obrázek 41: Obálka zrychlení pros soustruh 9 a ložisko L1 v horizontálním směru



Obrázek 42: Obálka zrychlení pro soustruh 11 a ložisko L1 ve vertikálním směru

Z přiložených obrázků je jasně patrné, že nejčastější příčinou vzniku vibrací, jsou samotná ložiska a vliv opotřebovaného ozubení.

Nevývaha se projevuje na grafech, které zobrazují efektivní hodnoty rychlosti v RMS, a to v levé části grafu, na otáčkové frekvenci. Vibrace vzniklé ozubením a samotným ložiskem se v těchto grafech zobrazují na násobcích otáčkových frekvencí.

Na grafech, které zobrazují efektivní zrychlení vibrací a, se vývaha neprojevuje, za to se však projevují špičky generované ložisky a ozubenými koly v násobcích otáčkové frekvence.



## **4 Závěrečné hodnocení**

### **4.1 Hodnocení stavu jednotlivých strojů**

V následující kapitole se pokusím shrnout poznatky získané při měření vibrací na strojích a navrhnout způsob nápravy.

#### **4.1.1 Soustruh 8**

Stav soustruhu 8 shledávám jako vhodný ke kontrole. Hodnoty efektivního zrychlení vibrací překročili hodnotu 1,8 g při maximálních otáčkách ve vertikálním i horizontálním směru. Předpokládám opotřebení ozubení převodovky, případně ložisek. Mezní hodnotu však prozatím hodnoty nepřekročily

#### **4.1.2 Soustruh 9**

Stav soustruhu 9 je poněkud horší než v případě soustruhu 8. Žádný měřený parametr nepřekročil mezní hodnoty, velice se však blíží.

Zhoršené parametry efektivních rychlostí i zrychlení vibrací jsou v horizontálním i vertikálním směru na ložisku L1, na ložisku L2 jsem pak zaznamenal pouze zvýšené hodnoty efektivních rychlostí vibrací v horizontálním směru. Na vině je zcela jistě opotřebování ozubených kol převodovky a je vhodný čas na jejich výměnu.

#### **4.1.3 Soustruh 10**

Stav soustruhu 10 je nejhorší, ze všech měřených strojů. Mezní hodnoty efektivních rychlostí vibrací pro tento druh stroje jsou významně překročeny v horizontálním směru. Ložiska stroje a převodovka vykazují velké opotřebení, doporučuji výměnu ložisek a důkladnou kontrolu ozubených kol převodovky s výměnou opotřebovaných částí.

Ve vertikálním směru jsou hodnoty vyhovující, pouze při maximálních otáčkách 1600 ot/min jsou zvýšeny. To může být dáno jednak silným opotřebováním ložisek, tak i již zmíněným nevhodným ustavením.

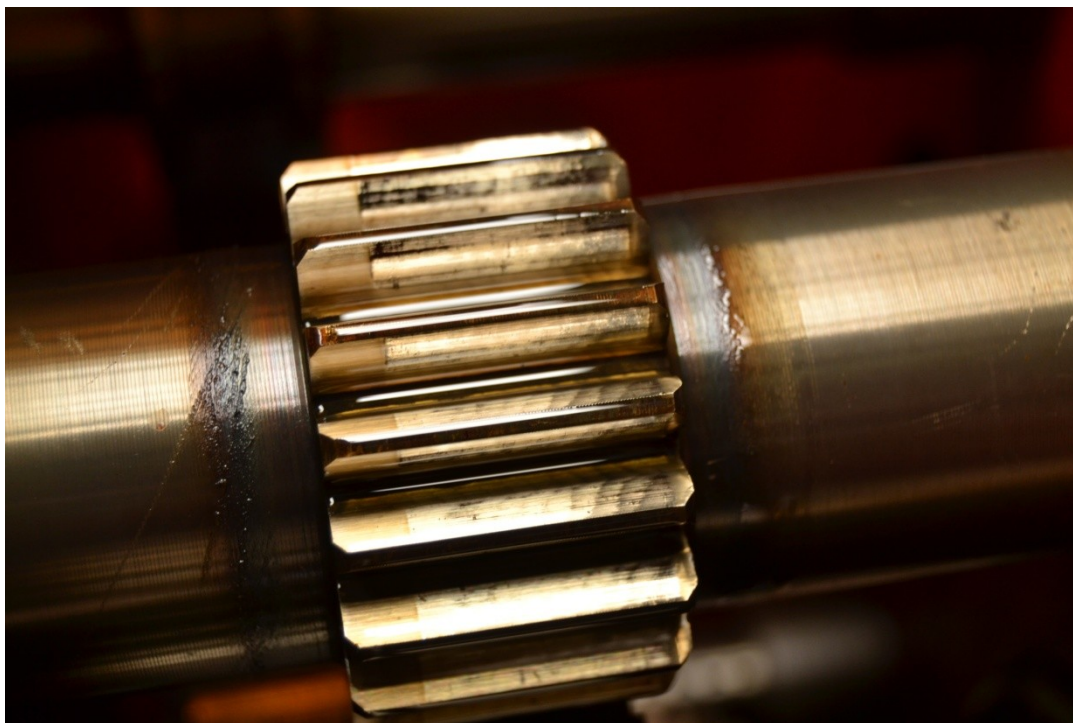
#### **4.1.3 Soustruh 11**

U soustruhu 11 se jako nejhorší parametr ukázalo efektivní zrychlení vibrací, paradoxně při nižších otáčkách než jsou maximální. Převodovka je tedy vhodná na kompletní rekonstrukci, včetně výměny ložisek.

#### 4.1.4 Soustruh 12

Stav soustruhu 12 je nejlepší z celé měřené skupiny. Parametry efektivního zrychlení vibrací však jsou při maximálních otáčkách zvýšené. Tyto parametry příkládám vzniku rázů při zařazeném převodu a tím opotřebování ozubených kol. Doporučuji kontrolu převodové skříně, případnou výměnu poškozeného kola.

#### 4.2 Závady zjištěné měřením



Obrázek 43: Otlak na ozubeném kole převodovky soustruhu 8

Při dokumentování principu mazání a uložení ložisek, jsem si všimnul lehkého poškození ozubených kol. Za všechny dávám příklad na obr. 4.1. Otlak je způsobený protějším kolem s velkým průměrem. Ozubené kolo na obr. 4.1 plní funkci pastorku a je pevnou součástí hřídele.

#### 4.3 Návrh oprav

K návrhu oprav jsem se již vyjádřil u hodnocení jednotlivých strojů. Cena za materiál při výměně všech měřených ložisek v soustruhu za ložiska SKF dle ceníku v době zpracování této práce by se vyšplhala na 16 380,- Kč bez DPH. K tomu je nutno ještě připočítat práci technika, který by výměnu provedl, případně náklady na převezení stroje, pokud by oprava nebyla možná přímo na místě.

Opotřebovaná ozubená kola je možno vyměnit za nová, případně nechat opravit. Opravy ozubených kol se provádí navařování a následnou úpravou do požadované geometrie zubu. Oprava je však velmi nákladná a není tak dokonalá jako použití nového ozubeného kola.

Kompletní renovace převodové skříně by se tak odhadem vyšplhalo na částku 45 000,- Kč.

## 5 Závěr

Úkolem mé práce bylo vyhodnotit technický stav skupiny 5 soustruhů 16k20. K mému překvapení se stroje jeví v podstatně lepším stavu, než by zvuk z nich vycházející naznačoval. Výsledky jsou částečně ovlivněny tím, že stroje nejsou k zemi nijak ukotveny. Všechna naměřená data jsou vložena do tabulek pro příslušná měřená místa a graficky zvýrazněny zhoršené, případně úplně nevyhovující hodnoty. Dle naměřených hodnot jsem následně usoudil, které spektra při maximálních otáčkách by bylo vhodné v této práci uvést. Spektra jsou dvojího druhu, jedny pro vyhodnocení efektivních rychlostí vibrací v RMS, druhá pro vyhodnocení efektivních zrychlení vibrací v jednotkách g. Ze spekter vyplývá, že ložiska již jsou na určitou míru opotřebována, avšak ve většině případů jsou ještě schopny svou práci bezpečně v mezních limitech vykonávat. V případě soustruhů, jejichž parametry byly nějakým způsobem zvýšené, případně překročené, jsem navrhnul typ opravy, nebo na co by se mělo při kontrole stroje dávat zvlášť pozor. Nepředpokládám však, že by se uvedené opravy provedly, protože se jedná o školní soustruhy k výuce a nepožaduje se od nich přesná práce. Svou zásluhu na technickém stavu soustruhů mají také studenti, kteří se ke stroji ne vždy chovají zcela správně. O tom svědčí strojním posuvem, případně rychloposuvem poškozené čelisti soustruhu atd. Stroje za celou dobu své existence nikdy nebyly diagnostikovány, neuplatňují se u nich metody prediktivní a ani proaktivní údržby. V celkovém hodnocení však většina strojů obstála jako práce schopných. Myslím si však, že v normálním provozu, při současném druhu údržby, by stroje byly již dávno opotřebovány do takové míry, že by jejich rekonstrukce nepřipadala v úvahu.

## 6 Seznam použité literatury

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. Vydání, 178s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80 – 01 – 02138 – 6.

ČSN 20 0065 *Metody měření a hodnocení mechanického kmitání – Mezní hodnoty kmitání*. Praha: Český normalizační institut, červen 1992. 16s

Podklady firmy ADASH

Podklady firmy SKF Ložiska a.s.

Podklady společnosti JSC Gomel Machine Tool Units Plant [online]. [cit. 2015-4-25]

Dostupné z: <http://gzsu.by/en/>

Originální ruský manuál k soustruhům 16k20, 16k20P, 16k20G a 16k25:

Московский станкостроительный завод "Красный Пролетарий": Токарно-винторезные станки 16K20, 16K20П, 16K20Г, 16K25, "Красный пролетарий", Москва 1976



## 7 Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Znak školy SPŠ Ostrava . Vítkovice .....	9
Obrázek 2: Soustruh 16k20 .....	12
Obrázek 3: Schéma převodového ústrojí.....	14
Obrázek 4: Pohled na celou převodovku po odkrytování .....	15
Obrázek 5: Způsob mazání ložisek v soustruhu 16k20.....	16
Obrázek 6: Pohled na část převodovky kde se volí jednotlivé rychlostní stupně.....	16
Obrázek 7: Pohled na část převodovky kde se volí převodový poměr.....	17
Obrázek 8: Tabulka veškerých kombinací převodů z manuálu .....	18
Obrázek 9: Štítek elektromotoru .....	19
Obrázek 10: Pohled ze zadu soustruhu na umístění elektromotoru .....	20
Obrázek 11: Náhon soustruhu a mazání .....	21
Obrázek 12: Převodovka pro strojní posuv .....	22
Obrázek 13: Kontrolka funkce olejového mazání .....	23
Obrázek 14: Pohled na měřené ložisko L1 na levé straně převodové skříně .....	23
Obrázek 15: Pohled na měřené ložisko L2 umístěné na pravé straně převodové skříně .....	24
Obrázek 16: Hlavní ovládací panel .....	26
Obrázek 17: Hlavní vypínač, kontrolka napájení, vypínač čerpadla pro chladicí kapalinu.....	27
Obrázek 18: Ovládání soustruhu .....	27
Obrázek 19: Tabulka převodových poměrů a rychlostních stupňů .....	28
Obrázek 20: Suport soustruhu s vedlejším vypínačem a pákou ovládání strojního posuvu .....	29
Obrázek 21: ADASH A4410 VA4 Pro se sondami .....	30
Obrázek 22: Úvodní obrazovka A4410 .....	31
Obrázek 23: Umístění vertikální a horizontální sondy, při měření ložiska L1 .....	32
Obrázek 24: Umístění axiální sondy .....	33
Obrázek 25: Uspořádání měřící soustavy při měření vibrací na ložisku L2 .....	34
Obrázek 26: Reflexní proužek na vřetenu soustruhu .....	34
Obrázek 27: Laserová bezdotyková sonda pro snímání frekvence otáček .....	35
Obrázek 28: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 8 ve vertikálním směru, L1 .....	43
Obrázek 29: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 8 v horizontálním směru, L1 .....	44
Obrázek 30: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 9 ve vertikálním směru, L1 .....	44
Obrázek 31: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 9 v horizontálním směru, L1 .....	45
Obrázek 32: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 9 v horizontálním směru, L1 .....	45
Obrázek 33: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 9 v horizontálním směru, L2 .....	46

Obrázek 34: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 10 ve vertikálním směru, L1 .....	46
Obrázek 35: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 10 v horizontálním směru, L1 .....	47
Obrázek 36: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 10 ve vertikálním směru, L2 .....	47
Obrázek 37: Efektivní hodnoty rychlosti vibrací soustruhu 10 v horizontálním směru, L2 .....	48
Obrázek 38: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 11 ve vertikálním směru, L1 .....	48
Obrázek 39: Efektivní hodnoty zrychlení vibrací soustruhu 12 ve vertikálním směru, L2 .....	49
Obrázek 40: Obálka zrychlení pro soustruh 9 a ložisko L1 ve vertikálním směru .....	49
Obrázek 41: Obálka zrychlení pro soustruh 9 a ložisko L1 v horizontálním směru .....	50
Obrázek 42: Obálka zrychlení pro soustruh 11 a ložisko L1 ve vertikálním směru .....	50
Obrázek 43: Otlak na ozubeném kole převodovky soustruhu 8 .....	53

## 8 Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Soupis měřených strojů .....	13
Tabulka 2: Technická data soustruhu 16k20 .....	13
Tabulka 3: Technické parametry elektromotoru M301 .....	19
Tabulka 4: Seznam měřených ložisek .....	24
Tabulka 5: Základní údaje ložiska 46216 .....	25
Tabulka 6: Základní údaje ložiska 3182120 .....	25
Tabulka 7: Mezní hodnoty vibrací dle ČSN 20 0065 .....	37
Tabulka 8: Grafické hodnocení naměřených vibrací .....	37
Tabulka 9: Naměřené hodnoty soustruhu 8 v měřicím místě L1 .....	38
Tabulka 10: Naměřené hodnoty soustruhu 8 v měřicím místě L2 .....	38
Tabulka 11: Naměřené hodnoty soustruhu 9 v měřicím místě L1 .....	39
Tabulka 12: Naměřené hodnoty soustruhu 9 v měřicím místě L2 .....	39
Tabulka 13: Naměřené hodnoty soustruhu 10 v měřicím místě L1 .....	40
Tabulka 14: Naměřené hodnoty soustruhu 10 v měřicím místě L2 .....	40
Tabulka 15: Naměřené hodnoty soustruhu 11 v měřicím místě L1 .....	41
Tabulka 16: Naměřené hodnoty soustruhu 11 v měřicím místě L2 .....	41
Tabulka 17: Naměřené hodnoty soustruhu 12 v měřicím místě L1 .....	42
Tabulka 18: Naměřené hodnoty soustruhu 12 v měřicím místě L2 .....	42